

Universidade de Évora

**Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos
Especialidade em Planeamento e Gestão da Água**

**Medição e modelação da transpiração em
olivais regados no Alentejo**

Pedro Miguel Carrageta Valverde

Dissertação apresentada à Universidade de Évora
para a satisfação parcial dos requisitos necessários
à obtenção do grau de Mestre

Orientador:

Prof. Doutor Francisco Lúcio dos Reis Borges Brito dos Santos

Évora 2013

Universidade de Évora

**Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos
Especialidade em Planeamento e Gestão da Água**

**Medição e modelação da transpiração em
olivais regados no Alentejo**

Pedro Miguel Carrageta Valverde

Dissertação apresentada à Universidade de Évora
para a satisfação parcial dos requisitos necessários
à obtenção do grau de Mestre

Orientador:

Prof. Doutor Francisco Lúcio dos Reis Borges Brito dos Santos

Évora 2013

Agradecimentos

Esta dissertação não é só resultado de um empenho individual, mas também de um conjunto de esforços que o tornaram possível. Desta forma, quero manifestar a minha gratidão às pessoas e instituições que tornaram possível a elaboração deste trabalho. Em particular gostaria de agradecer:

- Às entidades que tornaram possíveis os trabalhos desenvolvidos nesta dissertação, realizados no enquadramento dos trabalhos de investigação do projeto PTDC/AGR-PRO/111717/2009, designado por “Integração de parâmetros biofísicos da planta e da superfície do solo com deteção remota (por satélite e *in situ*) para modelar as necessidades hídricas de olivais regados e otimizar a programação da rega as escalas da parcela (H2OLIVE3S)”, cofinanciado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia e pelo FEDER através do Programa COMPETE com orientação Científica do Prof. Doutor Francisco Lúcio dos Santos, Investigador do Instituto de Ciências Agrárias Mediterrânicas da Universidade de Évora;

- Ao Professor Doutor Francisco Lúcio Santos pela sua disponibilidade, empenho e sugestões na orientação deste trabalho;

- Às entidades gestoras dos olivais que acolheram os trabalhos experimentais: Fundação Eugénio de Almeida e Olivais do Sul - sociedade agropecuária, Lda.

- À Engenheira Maria Manuela Correia, pelo apoio prestado na coordenação no terreno dos trabalhos de campo necessários à realização deste trabalho e pela cedência de algumas das fotografias que o ilustram;

- À Universidade de Évora pelos meios disponibilizados para a realização do presente trabalho;

- À minha família, pelo incentivo e apoio incondicional que sempre me demonstraram.

Resumo

Neste trabalho avaliaram-se as taxas de transpiração em dois olivais regados (intensivo e superintensivo), ambos representativos dos olivais atualmente presentes no Alentejo. A transpiração foi monitorizada em 2011 e 2012 através da medição do fluxo de seiva com a técnica *CHP* em diferentes regimes de rega. No olival superintensivo a transpiração foi também estimada com um modelo de balanço de energia bi-camada baseado na temperatura do coberto. O *LAI* dos olivais estudados foi monitorizado através um conjunto de sensores *PAR* distribuídos no compasso e os resultados foram utilizados como parâmetros de entrada no modelo do balanço de energia.

A medição do fluxo de seiva revelou-se uma metodologia fiável para a monitorização diária e de longo prazo da transpiração no olival. O modelo do balanço de energia da copa apresentou um bom ajustamento com o fluxo de seiva, mas apenas em condições de *LAI* elevado, revelando limitações de aplicação no olival.

Palavras-chave: olival, transpiração, gestão da rega, fluxo de seiva, balanço de energia da copa

Title:

Transpiration measurement and modeling of irrigated olive groves in Alentejo

Abstract

This study evaluated the transpiration rates in two irrigated olive orchards (intensive and super intensive), both representatives of the groves currently grown in the Alentejo region. Transpiration was monitored throughout 2011 and 2012 by measuring sap flow rates with the *CHP* technique under different irrigation schemes. The transpiration rates in the super intensive olive orchard were also estimated using a two-layer energy balance model based on canopy surface temperature. The *LAI* was monitored using an experimental layout of *PAR* sensors distributed in the tree spacing area and used as inputs in the energy balance model.

Measurement of sap flow with the *CHP* technique proved to be a reliable methodology for monitoring daily and long-term transpiration in olive groves. The canopy energy balance model showed a good degree of correlation to the sap flow measurements, but only under high *LAI* conditions, thus revealing limitations for broad field use in olive groves.

Keywords: *Olea europaea*, transpiration, irrigation scheduling, sapflow, canopy energy balance

Índice Geral

1. Introdução	1
1.1 Considerações gerais.....	1
1.2 Objetivos do trabalho	2
2. Revisão bibliográfica.....	4
2.1 Contexto e importância do olival em Portugal	4
2.2 Consumo de água no olival	8
2.3 Relações hídricas solo-planta-atmosfera no olival	11
2.4 Determinação da transpiração através da medição do fluxo de seiva.....	14
2.5 Determinação da transpiração através do balanço de energia do coberto vegetal	17
2.5.1 Definição das componentes do balanço de energia do coberto.....	17
2.5.2 Modelos de balanço de energia mono e multi-camada.....	19
2.5.2.1 Modelos mono-camada	19
2.5.2.2 Modelos multi-camada	20
2.6 Determinação do índice de área foliar (LAI) na oliveira.....	22
3. Materiais e métodos	25
3.1 Caracterização dos olivais analisados.....	25
3.2 Caracterização da rega nos olivais em estudo	27
3.3 Determinação das variáveis meteorológicas	28
3.4 Medição da transpiração da oliveira através da medição do fluxo de seiva	28
3.4.1 Descrição das sondas de fluxo de seiva e metodologia de instalação	29
3.4.2 Metodologia de cálculo do fluxo de seiva.....	33
3.5 Determinação da transpiração da oliveira através do balanço de energia.....	38
3.5.1 Descrição do modelo bi-camada utilizado para o balanço de energia do coberto	39
3.5.2 Determinação da radiação líquida do coberto (R_{nc}).....	41
3.5.3 Determinação do calor sensível do coberto (H_c).....	42
3.5.4 Cálculos auxiliares e correções aplicados no modelo bi-camada.....	45
3.6 Determinação da temperatura da copa através de radiometria de infravermelhos	46

3.7	Medição da radiação fotossintética ativa (<i>PAR</i>) e do índice de área foliar (<i>LAI</i>)	48
3.8	Metodologia de análise de correlação dos métodos utilizados para avaliar da transpiração	51
4.	Resultados e discussão	54
4.1	Evolução dos olivais estudados e do clima durante o período de análise	54
4.2	Distribuição da radiação <i>PAR</i> abaixo da copa e resultados do <i>LAI</i>	56
4.3	Resultados de transpiração obtidos através da medição do fluxo de seiva	59
4.3.1	Evolução das frações de água e madeira nos troncos das oliveiras	60
4.4	Resposta do fluxo de seiva à rega e à solicitação atmosférica	63
4.4.1	Resultados do fluxo de seiva no olival AC	63
4.4.2	Resultados do fluxo de seiva no olival OS	67
4.4.3	Resumo dos resultados de transpiração obtidos pelo fluxo de seiva	71
4.5	Transpiração estimada através do balanço de energia da copa	72
4.5.1	Transpiração estimada através do balanço de energia da copa no olival OS em 2011	72
4.5.2	Transpiração estimada através do balanço de energia da copa no olival OS em 2012	74
4.6	Análise de correlação entre a transpiração medida e estimada no olival OS	76
5.	Conclusões	79
	Referências bibliográficas	83
	ANEXOS	88
	Anexo 1	89
	Anexo 2	91
	Anexo 3	92
	Anexo 4	93
	Anexo 5	96
	Anexo 6	99
	Anexo 7	102
	Anexo 8	103

Índice de Figuras

Figura 1-Produção de azeitona em Portugal e na região do Alentejo (toneladas); (fonte: INE,2009).....	5
Figura 2- Localização da parcela experimental do olival AC na herdade do Álamo de Cima.....	25
Figura 3- Localização da parcela experimental do olival OS na exploração Olivais do Sul.....	26
Figura 4 - Esquema de instalação de um conjunto de sondas para medição do fluxo de seiva num tronco através do método <i>Compensation Heat Pulse</i>	30
Figura 5- Aspeto exterior da instalação das sondas HPV	31
Figura 6- processo de extração de uma amostra de madeira com uma verruma na face de um tronco de oliveira.	34
Figura 7- Pormenor de uma amostra de madeira em que se identifica a secção compacta de cor clara do <i>sapwood</i> e uma secção exterior mais escura da casca (o <i>heartwood</i> não é identificável).....	34
Figura 8- Representação gráfica do método utilizado para converter a taxa de transpiração T (Lh^{-1}) obtida em intervalos de 30 min em taxa de transpiração diária ($L dia^{-1}$).....	38
Figura 9- Esquema dos componentes do balanço energético do olival relativamente à copa e ao solo	40
Figura 10- Esquema das resistências à transferência de calor sensível entre o coberto e a atmosfera	43
Figura 11- Radiómetro de infravermelhos Apogee Instruments, Inc. , UT,EUA mod. SI-111 instalado num poste sobre a copa.....	47
Figura 12- Sensor PAR modelo Tranzflo Quantum QPAR-02.....	49

Figura 13- Esquema da disposição dos sensores PAR fixos nas árvores monitorizadas.	49
Figura 14- Evolução dos principais parâmetros agrometeorológicos registados entre 2011 e 2012 na pela estação meteorológica situada na herdade do Álamo de Cima	55
Figura 15 – Perfis transversais de PAR ($\mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$) médias obtidas através dos sensores fixos no solo ao meio dia solar em vários meses do período de monitorização em que o índice de área foliar variou de forma significativa.....	57
Figura 16- Resultados médios mensais do índice de área foliar, LAI (m^2/m^2), obtidos nos olivais em estudo ao longo do período analisado (2011-2012).....	58
Figura 17- Resultados da amostragem das frações de madeira (F_M) e água (F_L) dos truncos das árvores do olival OS.....	61
Figura 18- Resultados da amostragem das frações de madeira (F_M) e água (F_L) dos truncos das árvores do olival AC.....	61
Figura 19- Evolução do fluxo de seiva no Olival AC, dotações de rega em cada modalidade e evapotranspiração de referência registados em 2011.....	63
Figura 20- Evolução do fluxo de seiva no Olival AC, dotações de rega em cada modalidade e evapotranspiração de referência registados em 2012.....	65
Figura 21- Evolução do fluxo de seiva no Olival OS, dotações de rega em cada modalidade e evapotranspiração de referência registados em 2011.....	67
Figura 22- Evolução do fluxo de seiva no Olival OS, dotações de rega em cada modalidade e evapotranspiração de referência registados em 2012.....	70
Figura 23 - Evolução dos parâmetros de temperatura radiativa da copa (T_c), diferença entre a temperatura da copa e do ar (T_c-T_a) e radiação líquida sobre a copa R_n no olival OS em 2011	73
Figura 24- Comparação da transpiração estimada através do balanço de energia e da transpiração medida com o método do fluxo de seiva em 2011 no olival OS na	

modalidade de rega R1.....	73
Figura 25- Evolução dos parâmetros de temperatura radiativa da copa (T_c), diferença entre a temperatura da copa e do ar (T_c-T_a) e radiação líquida sobre a copa R_n no olival OS em 2012	75
Figura 26 - Comparação dos resultados de transpiração estimada com o balanço de energia e da transpiração medida com o método do fluxo de seiva em 2012 no olival OS na rega R1	75
Figura 27- Ajustamento linear obtido entre os valores de transpiração medidos do fluxo de seiva (T_{FS}) e estimados através do balanço de energia da copa (T_{BE}) no olival OS em 2011	76
Figura 28- Ajustamento linear obtido entre os valores de transpiração medidos do fluxo de seiva (T_{FS}) e estimados através do balanço de energia da copa (T_{BE}) no olival OS em 2012.....	76

Índice de Tabelas

Tabela 1- Produção de azeitona (toneladas) em Portugal entre os anos de 2007 e 2012..	5
Tabela 2- Produtividades médias obtidas em diferentes tipologias de olival. (Jorge e Avilez, 2005)	7
Tabela 3- Características das linhas de gotejadores utilizadas em cada modalidade de rega nos olivais em estudo.	28
Tabela 4- Resumo dos resultados de transpiração, dotações de rega e precipitação acumuladas em 2011 e 2012 para cada olival (OS e AC) e modalidade de rega (R1 e R2), expressas em (L/árv) e dos valores equivalentes em (mm) considerando a área definida pelo compasso.....	71
Tabela 5- Resumo das medidas quantitativas de desempenho do modelo do balanço de energia da copa relativamente à transpiração medida através das sondas de fluxo de seiva no olival OS nos anos de 2011 e 2012	77

Lista de Símbolos

Símbolo	Descrição	Unidades
C_d	Coefficiente de atrito foliar	---
C_p	Capacidade térmica mássica do ar a pressão constante	$\text{J kg}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$
D	Largura média da copa	m
d	Altura do plano de referência	m
DPV	Défice de pressão de vapor do ar	$\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$
D_T	Massa de água deslocada pela amostra de madeira submersa	kg
E	Evaporação do solo	mm
E_c	Fluxo de vapor da cultura (equivalente à transpiração)	L/arv/dia
ET	Evapotranspiração	mm
ET_0	Evapotranspiração de referência	mm
f_c	Fração coberta do solo	---
F_L	Fração de água no tronco	kg kg^{-1}
F_M	Fração de madeira seca no tronco	kg kg^{-1}
G	Fluxo de calor do solo	W m^{-2}
h	Altura das medições meteorológicas	m
H	Fluxo de calor sensível	W m^{-2}
h_c	Altura média da copa das árvores	m
H_c	Fluxo de calor sensível do coberto	W m^{-2}
hr	Altura ao solo do nível de referência da atmosfera	m
H_s	Fluxo de calor sensível do solo	W m^{-2}
hw	Espessura do <i>heartwood</i>	m
I_0	Radiação incidente no topo da copa	$\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$
I_b	Fração da radiação que atravessa a copa	$\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$
J	Densidade do fluxo de seiva	m s^{-1}
k	Constante de <i>von Kármán</i>	---
kc	Coefficiente cultural	---
k_e	Coefficiente de extinção	---
LAI	Índice de área foliar (<i>Leaf Area Index</i>)	$\text{m}^2 \text{ m}^{-2}$
LAI_L	Índice de área foliar da área da largura da linha coberta	$\text{m}^2 \text{ m}^{-2}$
L_{EL}	Distância entre linhas	m
L_L	Largura da área coberta da linha	m
MAE	Média do erro absolutos (<i>mean absolute error</i>)	L/arv/dia
MBE	Erro médio (<i>mean bias error</i>)	L/arv/dia
M_D	Massa seca da amostra de madeira	kg
M_F	Massa inicial da amostra de madeira	kg
M_T	Massa de água da amostra de madeira	kg
p	Parâmetro dimensional da copa dependente do rácio entre a altura e a largura da copa	m
PAR	Radiação fotossintética ativa (<i>Photosynthetic Active Radiation</i>)	$\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$
P_{at}	Pressão atmosférica média	Pa

Q	Fluxo de seiva volumétrico (caudal de seiva medido no tronco)	$m^3 s^{-1}$
R	Raio do tronco	m
R^2	Coefficiente de determinação	---
r_a	Resistência aerodinâmica do coberto	$s m^{-1}$
r_{ac}	Resistência da camada limite da vegetação	$s m^{-1}$
r_c	Resistência do coberto	$s m^{-1}$
$RMSE$	Erro padrão de estimativa (<i>root mean square error</i>)	L/arv/dia
$RMSE_s$	Erro padrão de estimativa do erro sistemático	L/arv/dia
$RMSE_u$	Erro padrão de estimativa do erro não sistemático	L/arv/dia
R_n	Radiação líquida sobre a copa do coberto	$W m^{-2}$
R_{nc}	Balanco de radiação do coberto	$W m^{-2}$
R_{ns}	Balanco de radiação do solo	$W m^{-2}$
sw	Espessura do <i>sapwood</i>	m
T	Transpiração	L/arv/dia
T_a	Temperatura do ar	°C
T_{BE}	Transpiração estimada pelo balanço de energia do coberto	L/arv/dia
T_c	Temperatura radiativa do coberto	°C
T_{FS}	Transpiração medida pelo fluxo de seiva	L/arv/dia
t_z	Tempo para o equilíbrio térmico nos sensores do fluxo de seiva	s
u_h	Velocidade do vento à altura h	$m s^{-1}$
V	Velocidade do fluxo de seiva	$m s^{-1}$
V_c	Velocidade corrigida do fluxo de seiva	$m s^{-1}$
V_T	Volume total da amostra de madeira	m^3
w_c	Largura média das folhas	m
ww	Diâmetro efetivo do orifício de instalação das sondas (<i>wound width</i>)	m
X_d	Distância entre o aquecedor e a sonda de jusante	m
X_u	Distância entre o aquecedor e a sonda de montante	m
z	Cota do local	m
z_0	Rugosidade do solo nu	m
Z_{oH}	Comprimento da rugosidade aerodinâmica da superfície para a transferência de calor sensível	$s m^{-1}$
Z_{oM}	Comprimento da rugosidade aerodinâmica da superfície para a transferência de quantidade de movimento	$s m^{-1}$
α_0	Constante para o cálculo de r_{ac}	---
α_w	Constante para o cálculo de r_{ac}	---
γ	Constante psicométrica	$kPa \text{ } ^\circ C^{-1}$
Δ	Declive da pressão de saturação de vapor em relação à temperatura do ar	---
ΔS	Energia absorvida pela cultura	$W m^{-2}$
λ	Calor latente de vaporização	$J kg^{-1}$
λE	Fluxo de calor latente de vaporização	$W m^{-2}$
λE_c	Fluxo de calor latente do coberto	$W m^{-2}$

λE_s	Fluxo de calor latente do solo	W m^{-2}
ρ_a	Densidade do ar	kg m^{-3}
ρ_L	Massa específica da água	kg m^{-3}
ρ_M	Massa específica da madeira	kg m^{-3}
φ	Ângulo solar zenital	radianos
ψ	Potencial hídrico foliar	MPa
Ω	Fator de agrupamento (<i>Clumping factor</i>)	---

Lista de Abreviaturas

<i>AC</i>	Olival da Herdade do Álamo de Cima (Fundação Eugénio de Almeida)
<i>CHP</i>	<i>Compensation Heat Pulse</i>
<i>FAO</i>	<i>Food and Agriculture Administration of the United Nations</i>
<i>HPV</i>	<i>Heat Pulse Velocity</i>
<i>HRM</i>	<i>Heat Ratio Method</i>
<i>IV</i>	Radiação na banda do infravermelho (comprimento de onda 9–14 μm)
<i>OS</i>	Olival da empresa Olivais do Sul
<i>P-M</i>	Equação de Penman-Monteith

Representação de números

- Ao longo deste trabalho a representação numérica tomou como símbolo de separador decimal o ponto "."

1. Introdução

1.1 Considerações gerais

O olival de regadio no Alentejo apresenta hoje um perfil de produção regional com propensão favorável para a expansão, que é sustentado pela disponibilidade de água proporcionada pela vasta rede de rega associada ao empreendimento da barragem de Alqueva, e também, do ponto de vista económico, pelo aumento da procura de azeite nos mercados internacionais. Atualmente os olivais para a produção de azeite são já maioritariamente explorados em regime de regadio. O objetivo de assegurar os elevados padrões de equilíbrio na qualidade e quantidade do azeite exigidos pelo mercado, mas também as elevadas densidades culturais que recentemente se têm adotado nos novos olivais intensivos e superintensivos, fazem da rega um fator imprescindível para a sua viabilidade económica. Devido ao pequeno volume de solo explorado por cada árvore neste tipo de olivais, o solo tende a esgotar mais rapidamente a sua capacidade de armazenamento de água, obrigando a ciclos de reposição de água mais curtos, aumentando conseqüentemente a sua dependência da rega para evitar situações de carência hídrica extrema com impactos na produção. Nestas condições, a obtenção de produções estáveis depende muito da capacidade da rega em manter a cultura em conforto hídrico ao longo do ciclo cultural e superar as limitações do regime hídrico natural imposto pelo clima e em particular pela irregularidade da precipitação na região.

A utilização da rega localizada tem contribuído para melhorar a produtividade e a eficiência da rega no olival que, associada ao desenvolvimento de novas práticas de gestão cultural e colheita mecanizada, têm permitido eliminar muitas ineficiências no processo de produção e melhorar o retorno económico das explorações. Nos olivais de regadio modernos, a adoção generalizada da rega localizada e a elevada taxa de cobertura do terreno pelo coberto, permitem também minimizar as perdas de água por evaporação do solo, fazendo com que a transpiração cultural constitua a principal componente no consumo total de água.

No atual contexto da olivicultura, que regista uma tendência de expansão das áreas de olival, e tendo em conta os potenciais riscos associados à disponibilidade e custo da água, o estudo relativo ao comportamento do olival face à rega e a utilização de métodos de avaliação dos consumos em tempo real para a otimização da rega constitui um contributo fundamental para o necessário processo de adaptar e melhorar a gestão da

rega na olivicultura.

Embora a produtividade dos olivais de regadio seja reconhecidamente mais elevada que em regime de sequeiro, a relação entre a dotação de água disponibilizada por via da rega e a produção exige ainda uma análise mais completa e abrangente, focada na quantidade e qualidade do fruto, para definir a combinação ideal entre a dotação de rega e o retorno económico do olival.

Nas últimas décadas a tecnologia de rega tem evoluído muito do ponto de vista da eficiência de aplicação da água, mas a gestão da rega mantêm-se ainda dependente de dois fatores de decisão principais: o momento ideal da rega e a quantidade de água a aplicar. Devido ao elevado controlo sobre o volume de água aplicado que a rega localizada possibilita, é possível atualmente integrar na exploração das culturas uma gestão da rega em tempo real com base na monitorização do clima, que em conjunto com a aplicação de metodologias no âmbito da engenharia de biosistemas permitem avaliar o consumo da água pela cultura também em tempo real. A engenharia de biosistemas constitui uma linha de evolução da engenharia agrónomica que utiliza métodos de monitorização do estado da cultura *in situ*, permitindo observar a resposta da cultura a diferentes regimes de rega e condições meteorológicas. A medição do fluxo de seiva e o balanço de energia do coberto inserem-se nesta perspetiva, como metodologias que permitem a aquisição de dados do consumo de água pelo olival em tempo real, com possíveis aplicações no âmbito da gestão da rega, contribuindo para melhorar a sua eficiência e evitando situações de défice hídrico suscetíveis de ativar vários mecanismos de resposta da planta com consequências negativas na quantidade e na qualidade do fruto.

Neste contexto, o conhecimento da dinâmica da transpiração cultural ao longo do ciclo da cultura, constitui uma fonte de informação importante e com aplicabilidade direta no ajustamento das dotações de rega.

1.2 Objetivos do trabalho

O presente trabalho visa contribuir para o conhecimento do consumo de água no olival de regadio, tendo-se definido como objetivo a utilização de dois métodos para a determinação em tempo-real da transpiração ao longo do ciclo cultural, capazes de uma monitorização de longo prazo e com potencial prático para constituir uma fonte de informação útil para a gestão da rega. Em resumo, os principais objetivos definidos

foram:

I) Quantificação da transpiração do olival com os seguintes métodos:

- i) Método direto: medição do fluxo de seiva no xilema do tronco
- ii) Método indireto: balanço de energia do coberto com um modelo bi-camada baseado na medição da temperatura radiativa da copa

II) Análise da resposta da transpiração obtida pelo método direto em diferentes modalidades de rega.

III) Análise e comparação dos resultados de transpiração cultural obtidos através dos dois métodos (direto e indireto).

2. Revisão bibliográfica

2.1 Contexto e importância do olival em Portugal

A oliveira, *Olea Europaea*, é uma árvore de folha perene com ocorrência natural na região mediterrânica, médio oriente e África Austral. Historicamente, a dinamização do cultivo de oliveiras na Península Ibérica é atribuída ao império romano, tendo desde então ocupado um importante papel na economia e na agricultura locais.

Atualmente em Portugal as variedades de maior relevância são a Galega, a Carrasquenha, a Cordovil, a Cobrançosa e a Verdeal. Mas existem muitas outras, entre as quais, as seguintes: Redondil, Azeitoneira ou Azeitona, Branquita ou Blanqueta, Conserva de Elvas, Negrinha, Madural, Verdeal Transmontana, Redondal, Galega Grada de Serpa, Cordovil de Serpa, Cordovil de Castelo Branco, Verdeal Alentejana ou Verdeal de Serpa, Bical de Castelo Branco, Maçanilha Algarvia, Maçanilha Carrasquenha de Almendralejo, Picual, Maçanilha ou Maçanilha Fina, Hojiblanca e Gordal. Cada variedade assume características próprias que se refletem nos produtos finais: azeite ou azeitona de mesa, permitindo colocar no mercado produtos diferenciados em função da variedade ou da combinação de variedades utilizada na sua elaboração. A importância de explorar esta diversidade é sublinhada por Camilo e Pereira (2004) que referem: “O mercado do azeite é um mercado que está em pleno crescimento. Devemo-nos diferenciar pela especificidade das nossas variedades da azeitona, impondo um produto diferente, um produto acima de tudo com qualidade.”.

A tendência de evolução do olival em Portugal aponta para um aumento da produção, principalmente centrado no Alentejo e associado ao regadio de Alqueva. Para além da quantidade, existe uma tendência de acrescentar valor ao azeite através da sua diferenciação em azeites DOP (denominação de origem protegida) e da utilização de variedades nacionais para obter azeites com características específicas que permitam a sua colocação no mercado com maior valor acrescentado (Cooperativa Agrícola de Moura e Barrancos, 2011).

Atualmente pode-se afirmar que, no Alentejo os novos olivais já são na sua generalidade planeados para exploração em regadio, embora ainda subsistam localmente pequenas explorações incluídas no tradicional regime de sequeiro, inseridas em contextos de exploração familiar ou abrangidas em regime de produção biológico.

Os dados do mais recente recenseamento agrícola elaborado pelo INE (2009) relativos à produção de azeitona, descritos na Figura 1, mostram que o Alentejo é a região de Portugal que atualmente mais contribui para o aumento da produção nacional de azeitona, embora na última década esse aumento se deva mais ao aumento de produtividade associado à adoção do regadio e às maiores densidades de plantação do que à expansão da área total de olival.

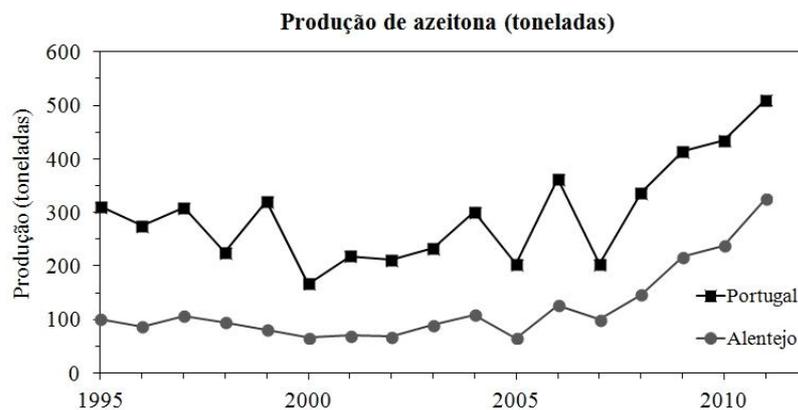


Figura 1-Produção de azeitona em Portugal e na região do Alentejo (toneladas); (fonte: INE,2009)

De acordo com os dados do INE (2009) expressos na Tabela 1, a produção de azeitona nacional é principalmente destinada à produção de azeite, que tem registado um aumento de procura no mercado nacional e internacional.

Tabela 1- Produção de azeitona (toneladas) em Portugal entre os anos de 2007 e 2012 e destino da produção (Fonte: INE)

Ano	Azeitona de mesa	Azeitona para azeite	Total
2007	7	204	211
2008	7	336	343
2009	8	415	423
2010	10	435	445
2011	9	511	520
2012*	7*	383*	390*

*dados provisórios

O azeite representa atualmente 4% do consumo de mundial de óleos vegetais, mas tem vindo a assumir-se cada vez mais como um produto alimentar de referência, não só nos países produtores da orla mediterrânica, mas também nos novos mercados internacionais. (Cooperativa Agrícola de Moura e Barrancos, 2011). Embora a azeitona de mesa e de conserva tenha uma procura nacional relativamente estável, é um produto

ainda pouco conhecido fora da região mediterrânica, e que, por conseguinte, apresenta ainda um potencial de crescimento de consumo que certamente merecerá a atenção dos empreendedores do sector da olivicultura na prospeção de novos mercados.

Um maior conhecimento das potencialidades do olival como cultura, e o aumento da procura do azeite, aliado a novas técnicas agronómicas, ditou nos últimos anos uma redefinição dos métodos de cultura do olival, induzindo alterações significativas nas paisagens dos novos olivais. A exploração do olival em Portugal tem vindo a sofrer transformações significativas nas últimas décadas, traduzidas por um aumento da área total de olival e uma elevada taxa de adoção do regadio através de modernos sistemas de rega, nomeadamente a rega gota-a-gota que permite, utilizando o circuito de rega, adotar métodos de tratamento fitossanitários e adubação mais eficazes.

A evolução da tecnologia e dos métodos de gestão agronómica e económica do olival também têm evoluído de forma substancial com a adoção de maiores densidades de plantação em regime intensivo (250 a 350 árv/ha), e superintensivo (cerca de 2000 árv/ha), sempre associados a sistemas produtivos modernos e assentes na mecanização. Adicionalmente, a generalidade das novas explorações beneficiam de acréscimos significativos de produtividade resultantes da aplicação de novos processos de poda e colheita mecanizados que permitem importantes reduções de custos unitários e ganhos de rentabilidade (Cooperativa Agrícola de Moura e Barrancos, 2011). Excluindo a mecanização, a componente com maior peso no custo de produção é a colheita, podendo atingir metade dos custos totais de produção (Pinto, 2004). No seu conjunto, estes fatores permitem superar algumas das limitações do longo tempo de retorno do investimento económico na olivicultura, permitindo uma mais rápida entrada em produção de novas explorações e redução dos custos de produção.

Entre os fatores que resultaram da modernização do olival em Portugal, a adoção da rega é sem dúvida o mais saliente, marcando um ponto de viragem na exploração do olival e nos ganhos de produtividade e rentabilidade desta cultura.

O olival, tradicionalmente cultivado em regime de sequeiro, é uma cultura muito resistente a condições de seca, mas a adoção da rega fez aumentar de forma considerável a sua produtividade. Este fator é especialmente notório nos climas secos e em solos com baixa capacidade de armazenamento de água, típicos das regiões semiáridas do Mediterrâneo como é o caso do Alentejo, em que o fornecimento de pequenas dotações de rega já permite melhorar a produção de forma considerável

(Pastor *et al.*, 1996).

As vantagens da utilização do regadio no olival traduzem-se num aumento do número e tamanho dos frutos, uma maior e mais rápida expansão da copa e a possibilidade de adotar densidades de plantação mais elevadas, que permitem obter uma melhor rentabilidade por unidade de área de terreno disponível. A maior expansão dos caules em árvores regadas também favorece a produção no ano seguinte, desde que seja complementada com uma poda adequada que permita otimizar a entrada da luz solar na copa. A Tabela 2 descreve as produtividades médias obtidas no olival de regadio em função da densidade de plantação.

Tabela 2- Produtividades médias obtidas em diferentes tipologias de olival. (Jorge e Avilez, 2005)

Tipo de olival	Intensivo com variedades DOP	Intensivo com variedades espanholas	Superintensivo com variedades espanholas	Olival tradicional convertido ao regadio
Densidade (arv/ha)	417	286	1975	100
Compasso (m×m)	8×3	7×5	1.35×3.75	10×10
Produtividade (kg/ha)	6000	8000	10000	600 a 2500

A disponibilidade de água para rega proporcionada pela recente implementação do sistema de regadio da barragem de Alqueva contribuiu nos últimos anos e de forma decisiva para viabilizar o estabelecimento de grandes áreas de olival de regadio, eliminando uma das mais importantes limitações que existiam para a sua expansão. A região do Alentejo servida pelo sistema de regadio do Alqueva é, atualmente uma das regiões onde mais se verifica um crescimento de área de olival. A contabilização das áreas de regadio baseada nas informações dos recenseamentos agrícolas de 1999 e 2009 (INE) e das associações de regantes dos perímetros de regadio público, permite verificar que, no seu conjunto, a evolução da área de olival regado na bacia hidrográfica do rio Guadiana aumentou de 4268ha em 1999 para 28749ha (Serralheiro *et al.*,2011), o que se traduz num aumento de quase sete vezes num período de dez anos.

Para contextualizar economicamente a importância de uma correta gestão da rega, é relevante referir que a água para rega que serve os olivais estudados neste trabalho é proveniente da barragem do Alqueva e distribuída pelo bloco de rega do Monte Novo. Segundo as informações disponibilizadas pela entidade gestora do empreendimento do Alqueva (EDIA, 2012), o preço da água situava-se em 2012 em cerca de 5 cêntimos/m³ para fornecimentos em baixa pressão e 8 cêntimos/m³ em alta pressão, estando previsto para nos próximos anos um acerto anual progressivo que elevará estes custos.

2.2 Consumo de água no olival

Uma das mais importantes contribuições da investigação no âmbito da gestão da rega foi a capacidade de definir corretamente as necessidades hídricas das culturas (Steduto *et al.*, 2012). No caso das culturas lenhosas como é o olival, este conhecimento foi particularmente importante para a sua transição do regime tradicional de sequeiro, em que eram historicamente cultivadas, para o regime de regadio.

A abordagem mais utilizada para definir as necessidades hídricas de uma cultura consiste na determinação da evapotranspiração de referência ET_0 , que traduz a evapotranspiração que ocorre numa cultura de referência sem restrições hídricas. A evapotranspiração cultural ET da cultura em estudo é então obtida, para cada fase do ciclo cultural, através do produto da ET_0 por um coeficiente cultural k_c , pré-determinado por um processo de calibração. Esta metodologia foi desenvolvida e melhorada por vários autores, resultando hoje na conhecida metodologia da FAO-56, proposta por Allen *et al.* (1998), que é atualmente uma das metodologias que reúne maior aceitação neste domínio. No entanto, esta abordagem assume que a cultura é explorada permanentemente em condições próximas das ideais, sem limitações hídricas, verificando-se também que os coeficientes k_c tabelados nas várias fontes têm um âmbito de aplicação limitado e carecem de calibração local para assegurar valores de ET fiáveis para locais e densidade de cultura diferentes dos considerados na calibração.

O processo de evapotranspiração desempenha um papel determinante por intervir na regulação térmica da cultura, fornecer energia para a absorção de nutrientes a partir do solo e atuar na manutenção da turgidez, sendo que apenas cerca de 1% da água consumida pela cultura é utilizada no processo metabólico (Rosenberg *et al.*, 1983). A quantificação da evapotranspiração cultural ET e dos seus componentes: evaporação E , e transpiração T constituem a base de cálculo que define o consumo de água de uma cultura e da qual dependem as estratégias e os métodos subsequentemente elaborados para melhorar a eficiência do uso da água (Colaizzi *et al.*, 2012).

A precisão na determinação do consumo de água no olival torna-se fundamental no atual contexto de práticas culturais em que se verifica uma intensificação da densidade da cultura e um correspondente aumento de consumo de água de rega necessário para garantir a sua máxima produtividade. Neste âmbito, a determinação do

consumo de água em tempo real constitui uma importante mais-valia na gestão da rega, porque representa os consumos de água reais da cultura, sujeitos às limitações impostas pelas variáveis climáticas e pelas opções tomadas na gestão da rega.

A determinação do consumo de água de uma cultura é possível através de vários métodos que analisam os fluxos de massa e energia nas componentes da interface solo-água-atmosfera. De entre estes, pode-se citar o lisímetro de pesagem, que constitui uma das metodologias mais rigorosas por permitir observar a variação de massa que ocorre num volume de solo contendo a cultura a analisar, e que traduz o consumo de água pela cultura. Os lisímetros são utilizados como principal fonte de dados para a determinação dos coeficientes culturais k_c na já referida metodologia FAO-56. No entanto, para culturas de grande porte, este método não se revela prático devido ao grande volume de solo necessário e à dificuldade em medir a variação de massa do conjunto que exige estruturas e balanças de grande capacidade.

A determinação do consumo de água pela cultura no terreno (ET), pode também ser efetuada através do balanço hídrico do solo, contudo esta determinação vê-se limitada a uma resolução temporal baixa, que reduz o seu potencial para a gestão da rega em tempo real. A esta limitação acrescem as dificuldades de estimativa das componentes de drenagem e escoamento superficial no balanço hídrico, que devido à sua dificuldade de quantificação, conferem aos resultados um considerável grau de incerteza (Smith e Allen, 1996).

Alternativamente ao balanço hídrico do solo desenvolveram-se métodos micro-meteorológicos como as técnicas de *Bowen ratio* e *eddy covariance*, que permitem obter a evapotranspiração com uma elevada resolução temporal. Estes métodos só são aplicáveis em áreas extensas e uniformes, exigindo equipamentos complexos e dispendiosos. Estes fatores limitam o uso destas metodologias a um local fixo do terreno, em detrimento de uma disposição espacial com múltiplos pontos de amostragem e maior grau de representatividade.

Um grande número de trabalhos de investigação tem dado atenção ao balanço de energia do solo e do coberto das culturas, que incluem medições de E e T , bem como da ET . No entanto, verifica-se que a determinação isolada destas componentes separadamente acarreta mais dificuldades comparativamente à determinação da ET .

A transpiração T é o processo responsável pelo transporte da água captada no solo pela cultura para a atmosfera, representando a evaporação que ocorre através dos

estomas das folhas e associada à atividade fisiológica da cultura. Os fatores dominantes neste processo de transpiração da cultura são: i) a disponibilidade de água, ii) a energia disponível para a evaporação, e iii) o controlo exercido pela própria cultura sobre a transpiração (controlo estomático), que no caso do olival é significativo para limitar a perda de água da planta através das folhas no processo de transpiração (Fernández *et al.*,1997).

A componente da evaporação E engloba principalmente a evaporação água do solo e a água depositada nas folhas e nos caules pela precipitação. Do ponto de vista agrícola, a componente de evaporação E a partir do solo ou da água retida na copa é geralmente considerada uma perda de eficiência, por não contribuir de forma efetiva para a formação da produção agrícola, embora possa contribuir para reduzir a componente de transpiração cultural devido à alteração que induz no microclima na envolvente da copa.

Nos sistemas de rega localizada, a pequena superfície de solo humedecida que se situa principalmente na zona de ensombramento pela copa permite minimizar a componente de evaporação do solo. Bonachela *et al.* (2001) referem, no âmbito de um estudo de evaporação do solo num olival regado por rega gota-a-gota, que a importância relativa da evaporação no consumo total de água (ET) se situa entre 4 a 12% para um olival com 36% de cobertura de terreno pelas copas. Os olivais em estudo neste trabalho, Álamo de Cima (AC) e Olivais do Sul (OS), apresentam coberturas de terreno de 37% para o olival AC e de 57% para o olival OS, pelo que é razoável admitir antecipadamente que a importância relativa da evaporação do solo no consumo total de água nestes olivais será semelhante ou até inferior a esses valores, principalmente no caso de olivais superintensivos, como o olival OS em que a fração de solo coberta é maior. Assim, o conhecimento do consumo de água pela cultura através do processo de transpiração é o fator mais importante para a gestão da rega. Sabe-se também que uma rega eficiente é alcançada quando a maior parte da água aplicada no solo é utilizada apenas no processo de transpiração, e simultaneamente se minimizam as perdas de água por evaporação, escoamento e infiltração (Steduto *et al.*, 2012).

Atendendo à maior importância relativa da componente transpiração no consumo de água pelo olival, neste trabalho, centrou-se o objetivo principal de estudo na determinação desta componente através de dois métodos: i) medição do fluxo de seiva no tronco e, ii) balanço de energia do coberto.

Estes dois métodos, embora partindo de conceitos diferentes, apresentam ambos aptidão para a monitorização da transpiração com um elevado grau de automação, elevada resolução temporal e capacidade de registar simultaneamente múltiplos pontos de amostragem, justificando assim a sua aplicabilidade no contexto do regadio moderno. Estas características potenciam a integração destes métodos em sistemas modernos de gestão de rega e justificam a sua preferência como objeto de estudo neste trabalho, tendo em vista aprofundar a sua viabilidade e valências práticas.

Na secção seguinte aborda-se o mecanismo da transpiração cultural no contexto do sistema constituído pela interface solo-planta-atmosfera descrevendo-se as relações que existem entre estas componentes.

2.3 Relações hídricas solo-planta-atmosfera no olival

O sistema solo-cultura-atmosfera é um sistema hidráulico contínuo que responde à solicitação evaporativa atmosférica, gerando um gradiente de potencial hídrico entre o solo e a atmosfera. Esse gradiente também está presente na cultura, o que através dos seus processos fisiológicos promove o transporte da água no solo para a atmosfera, inicialmente através das raízes, passando pelo xilema até à superfície de troca constituída pelas folhas, onde se dá a evaporação da água através dos estomas. Este processo traduz o ciclo da transpiração.

Em geral, o movimento da água num determinado meio ocorre em função da sua concentração relativa, movendo-se no sentido das concentrações altas para as mais baixas. Analogamente, o potencial hídrico que ocorre entre as interfaces solo-cultura-atmosfera traduz o movimento de água que se estabelece no sentido dos potenciais altos (solo) para os baixos (atmosfera) (Taiz *et al.*, 2006), constituindo também uma medida da energia envolvida nas transferências hídricas em função da concentração de água em cada um destes meios. O mecanismo de transferência de água entre o solo e a atmosfera, através da planta, baseia-se no facto de a concentração das moléculas de água na atmosfera (expressa pela humidade relativa) ser mais baixa que na planta, o que propicia o seu transporte do solo para a atmosfera, através da planta e a sua saída (por evaporação) a partir das folhas. Esta saída de água da planta conduz por sua vez à redução do potencial hídrico, que se propaga ao longo dos seus tecidos até às raízes onde a diferença do potencial hídrico entre planta-solo gera a extração de água do solo.

Uma vez estabelecido o gradiente de potencial hídrico no sistema atmosfera-planta, a planta atua, através dos seus mecanismos fisiológicos e, gradualmente vai repondo a água perdida para a atmosfera (por transpiração) com água extraída a partir do solo (pelas raízes), reduzindo progressivamente o gradiente de potencial hídrico ao longo dos seus tecidos.

O estado hídrico da cultura num dado momento depende assim da relação entre a entrada de água no sistema por via das raízes e da perda de água através da transpiração, podendo descrever-se pelo potencial hídrico foliar ψ , expresso em unidades de pressão (MPa), que será tanto mais negativo quanto maior for o défice hídrico a que a planta está sujeita (Hsiao, 1973).

A oliveira é uma árvore que tem a particularidade de ser capaz de extrair água do solo e manter o processo de transpiração mesmo na presença de níveis de humidade no solo muito baixos. Outras espécies de árvores de fruto são incapazes, nestas condições, de manter ativos esses mecanismos (Gucci e Barone, 2003). Os mecanismos fisiológicos da oliveira, e em particular a forma como gere os processos de extração de água do solo e de transpiração conferem-lhe uma reconhecida resistência à seca. Esta capacidade deve-se a vários aspetos físicos e anatómicos, nomeadamente a pequena dimensão das folhas que proporciona uma reduzida superfície de troca, e por estas possuírem no seu verso pequenos pêlos que recapturam a água, conduzindo-a de novo para a folha. A configuração dos estomas, situados em depressões nas folhas, e o seu comportamento, também ajudam a moderar a taxa de transpiração da oliveira.

O controlo estomático na oliveira é um dos principais fatores que restringe a transpiração. Fernández *et al.* (1997), referem que em dias de elevada solicitação evapotranspirativa, a oliveira reduz a perda de água para a atmosfera fechando os estomas logo no início da manhã evitando que o potencial hídrico foliar (ψ) diminua excessivamente. Assim, o potencial hídrico foliar da oliveira apresenta uma elevada variação diária e sazonal, verificando-se que durante o dia o controlo estomático (fecho total ou parcial dos estomas) faz com que o potencial hídrico foliar possa atingir valores próximos do ponto de emurchecimento (-1.5MPa) nas horas mais quentes do dia, mesmo em presença de humidade no solo (Gucci e Barone, 2003),

Em geral, a oliveira tem capacidade de resistir ao *stress* hídrico através da redução do potencial hídrico nos seus tecidos, o que lhe permite estabelecer elevados gradientes de potencial entre as raízes e o solo, e continuar a extrair água do solo,

mesmo quando os potenciais matriciais do solo são da ordem dos -2.5MPa, valor muito abaixo do que é tolerado pela maioria das outras espécies de árvores de fruto que se situa nos -1.5MPa (Xiloyannis *et al.*, 1999).

Em condições de *stress* hídrico prolongadas, e também considerando o ponto de emurhecimento das culturas anuais, a oliveira recupera rapidamente a sua taxa de transpiração após a reposição de água no solo, chegando aos valores normais de potencial hídrico foliar ao fim de apenas dois dias (Fernández *et al.*,1997). De acordo com Xiloyannis *et al.*, (1999), o intervalo de valores de potencial hídrico foliar registados na oliveira é relativamente grande, verificando-se que a atividade de controlo estomático se inicia em valores de potencial hídrico foliar de cerca de $\psi = -0.9$ MPa e cessa em valores extremos de $\psi = -7.0$ MPa. A partir de $\psi = -6.0$ MPa a oliveira suspende parcialmente a sua atividade fisiológica mas ainda mantém atividade fotossintética. A perda de turgidez celular nas folhas normalmente ocorre entre $\psi = -3.0$ MPa e -3.5MPa (Gucci e Barone, 2003).

Existem contudo registos de valores de potencial hídrico foliar da ordem de -8 a -10MPa em condições extremas de défice hídrico, em que a árvore ainda voltou a recuperar o seu *status* hídrico (Angelopoulos *et al.*,1996; citado por Gucci e Barone, 2003), comprovando a elevada resistência desta cultura ao *stress* hídrico.

O xilema da oliveira tem uma estrutura uniforme, com vasos de pequeno diâmetro que reduzem a probabilidade de ocorrência de fenómenos de cavitação no seu interior, originados por formação de bolhas de ar no sistema vascular. Este fenómeno é responsável pela perda de funcionalidade do xilema e da sua capacidade de transporte de seiva, ocorrendo em condições de elevado *stress* hídrico. Nesta situação, a pressão negativa (gradiente hídrico) que se forma nos vasos do xilema é tão intensa que o líquido (seiva) vaporiza-se localmente, formando bolhas que tendem a obstruir os vasos do xilema e a quebrar a sua continuidade hidráulica. Herbet e Cochard (2010) concluíram que o cálcio é o nutriente que contribui de forma mais expressiva para minimizar a vulnerabilidade do xilema à cavitação devido à sua influência na melhoria da porosidade nas paredes dos vasos do xilema.

A interface solo-planta-atmosfera será observada ao longo deste trabalho na perspetiva da quantificação da transpiração do olival. Nas próximas secções descrevem-se os métodos considerados para captar e quantificar esta transferência de água que ocorre entre o solo e cultura, focando em especial duas formas de determinar a

transpiração cultural do olival: i) medições diretas no xilema do fluxo de seiva, e ii) indiretamente, através de um modelo de balanço de energia do coberto recorrendo à temperatura radiativa da copa.

2.4 Determinação da transpiração através da medição do fluxo de seiva

A taxa de transpiração de uma planta pode ser estimada através da utilização de técnicas que medem o fluxo ascendente de seiva no xilema do tronco. Considera-se que este fluxo corresponde à quantidade de água que é transferida entre o solo e a atmosfera através da cultura. A estrutura do xilema da oliveira é funcionalmente favorável a medições do fluxo de seiva devido à uniformidade da distribuição dos seus vasos ao longo dos anéis de crescimento anuais do tronco (Gucci e Barone, 2003).

A medição do fluxo de seiva constitui assim uma técnica que permite quantificar o uso da água pela cultura e monitorizar a sua resposta face às condições ambientais. Existem várias metodologias para medição do fluxo de seiva elaboradas por vários investigadores. As principais técnicas utilizadas atualmente têm em comum a utilização de princípios termodinâmicos para a quantificação volumétrica do consumo de água pelas plantas. Estas metodologias envolvem genericamente a utilização de uma fonte de calor artificial cuja duração de aplicação pode ser controlada de uma forma específica de modo a permitir a utilização de calor como elemento “marcador”, já que este pode ser transportado pelo fluxo de seiva no xilema do tronco (*sapwood*).

A metodologia *HPV* (*Heat Pulse Velocity*) foi originalmente desenvolvida por Huber (1932) e constitui a base das metodologias estabelecidas posteriormente para a medição de fluxo de seiva em culturas lenhosas. Esta metodologia, foi posteriormente aperfeiçoada por Huber e Schmidt (1937). Aqui o calor é aplicado apenas numa pequena secção do tronco em intervalos e duração pré-definidos, sendo posteriormente rastreado com sensores colocados a distâncias fixas a montante e jusante do emissor de calor (aquecedor), o que permite determinar a velocidade do fluxo de seiva. A velocidade do fluxo de seiva obtida numa secção com área conhecida é depois convertida em fluxo volumétrico, ou seja, na quantidade de seiva que flui através da secção do tronco por unidade de tempo.

O método foi posteriormente melhorado por Marshall (1958), que incluiu na metodologia de cálculo a contabilização do efeito que produz na circulação da seiva a

da implantação e presença física das sondas no xilema. Décadas mais tarde, Swanson e Whitfield (1981) introduziram ainda correções adicionais que permitiram aproximar melhor a velocidade do impulso de calor à velocidade efetiva do fluxo de seiva. Para o efeito, utilizaram métodos numéricos para corrigir os efeitos resultantes dos orifícios de instalação das sondas (*wound width*) na circulação do fluxo de seiva.

A metodologia *HPV* fragmentou-se posteriormente em várias outras técnicas que foram sendo desenvolvidas com o mesmo objetivo de melhorar e adaptar o método em função de várias condições de fluxo, que deram origem a várias formas de colocação e configurações das sondas nos troncos. Destas técnicas que implementam o método *HPV* destacam-se o a) *Compensation Heat Pulse Method (CHP)*, b) o método T_{MAX} , e c) o *Heat Ratio Method (HRM)* que brevemente se descrevem de seguida:

A técnica *Compensation Heat Pulse* (Swanson,1962) utiliza duas sondas de temperatura colocadas assimetricamente a montante e a jusante de um emissor de calor. O emissor de calor é momentaneamente ativado para emitir um “impulso de calor”, após o qual, a temperatura da sonda de montante, mais próxima do emissor de calor, aumenta de forma quase imediata devido à condução térmica do calor através do xilema. A sonda de jusante, mais distante da fonte de calor mantém ainda temporariamente a sua temperatura inicial, mas após um intervalo de tempo, esta sonda de jusante regista um aumento de temperatura devido à convecção de calor transportada pela seiva em movimento no xilema. O intervalo de tempo necessário (t_z) para um igual aumento de temperatura entre as duas sondas (de montante e jusante), representa o tempo necessário para a convecção de calor “transportar” o impulso de calor para o ponto médio entre as duas sondas de temperatura. A velocidade do impulso de calor é então calculada com base na relação entre a distância das sondas (fixada na instalação) e no tempo t_z .

A técnica T_{MAX} segue a metodologia de Cohen *et al.* (1981) e utiliza uma só sonda de temperatura a jusante do emissor de calor. Esta técnica tem como princípio de funcionamento a determinação do tempo necessário para a sonda registar a temperatura máxima após a emissão do impulso de calor, determinando posteriormente a velocidade do impulso de calor através de uma equação baseada na equação de transporte de calor de Marshall (1958).

A técnica *HRM* (Burgess *et al.*, 2000, 2001) utiliza duas sondas de temperatura colocadas, neste caso, simetricamente a montante e jusante do emissor de calor. É

também baseada na equação de transporte de calor definida por Marshall (1958), que relaciona a velocidade do impulso de calor com a taxa de aumento das temperaturas de montante e jusante após a emissão do impulso de calor.

Todas as técnicas *HPV* descritas exigem a aplicação de fatores de correção para: i) corrigir as medições em função das perturbações induzidas pela presença das sondas no tronco, e ii) converter a velocidade do impulso de calor em velocidade de transporte de seiva em função das propriedades físicas do xilema. Sem estas correções, a velocidade do impulso de calor obtida tende a subestimar de forma significativa a velocidade efetiva do fluxo de seiva no xilema do tronco. O fluxo de seiva, após as correções, pode ser convertido em unidades análogas de caudal ou volume/tempo como o produto da velocidade efetiva da seiva pela área condutiva do xilema. Estas metodologias apresentam ainda como requisitos básicos de aplicação o rigoroso posicionamento e espaçamento das sondas, a existência de homogeneidade térmica no *sapwood*, e a execução de calibrações prévias do método tendo em conta as características da cultura para validar as medições quantitativas do fluxo. De acordo com Green *et al.* (2003), a precisão do método *HPV* para estimar a transpiração à escala diária situa-se numa diferença de 5 a 10% relativamente à transpiração medida com um lisímetro, e possui um limite mínimo de sensibilidade que lhe permite registar fluxos de seiva até 2 cm h^{-1} .

Quanto à utilização destas metodologias no olival, o equipamento *HPV* foi já utilizado com sucesso na determinação da transpiração no olival em trabalhos de investigação conduzidos no sul de Espanha por Fernández *et al.* (Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología, Sevilha) e também em Portugal, no âmbito de trabalhos de investigação no olival elaborados na Universidade de Évora por Santos *et al.* (2006, 2007) e Valverde (2005).

Os trabalhos de investigação levados a cabo por Fernández *et al.* (2001,2006), foram particularmente importantes para calibrar o equipamento e adaptar o método de cálculo, permitindo melhorar a sua precisão na medição da transpiração da oliveira. Destes trabalhos de investigação de calibração, salienta-se a estimativa do parâmetro *wound width* e a avaliação de métodos de integração para resolver o fluxo na secção do tronco, e que envolveu a utilização do equipamento de fluxo de seiva em simultâneo com um dispositivo experimental análogo a um lisímetro, permitindo a comparação simultânea entre a transpiração registada pelas sondas de fluxo de seiva e a transpiração real. Essas conclusões relativas à calibração foram incorporadas no presente trabalho

para se obter a melhor precisão possível na determinação da transpiração através das sondas de fluxo de seiva e serão descritas com mais detalhe na secção 3.4.2.

2.5 Determinação da transpiração através do balanço de energia do coberto vegetal

2.5.1 Definição das componentes do balanço de energia do coberto

Vários modelos, de complexidade variável, têm sido desenvolvidos para parametrizar as transferências de energia entre o solo coberto pela cultura e a atmosfera. A metodologia do balanço de energia tem por base funcional a primeira lei da termodinâmica, ou lei da conservação da energia. De acordo com Ezzahar, *et al.* (2012), a aplicação prática dos vários modelos de balanço energético envolve geralmente a medição das componentes de fluxo de calor sensível H ($W m^{-2}$), radiação líquida R_n ($W m^{-2}$) e fluxo de calor do solo G ($W m^{-2}$), calculando posteriormente o fluxo de calor latente de vaporização λE ($W m^{-2}$), que expressa a transpiração como termo residual do balanço energético resultante da aplicação da eq.(1). Essa será, em linhas gerais, a abordagem do modelo balanço de energia a implementar no presente trabalho para estimar a transpiração do olival e cujos fundamentos se descrevem nas secções seguintes.

A sua aplicação ao coberto vegetal pode ser definida, na sua forma mais simples, através da eq.(1), que define os componentes principais do balanço de energia vertical sobre o solo coberto por vegetação.

$$R_n = \lambda E + H + G + \Delta S \quad (1)$$

A radiação líquida (R_n) traduz a diferença de energia que se verifica entre a radiação incidente sobre o sistema solo-coberto vegetal e a que é refletida desse sistema. A radiação líquida constitui também a fonte de energia disponível e que participa nos seguintes processos: i) vaporização de água (fluxo de calor latente de vaporização, λE); ii) variação de temperatura do solo (fluxo de calor do solo, G); iii) variação de temperatura do coberto vegetal (fluxo de calor sensível, H); e iv) energia absorvida pela cultura, ΔS ($W m^{-2}$) (Ezzahar, *et al.*,2012). Esta última componente é geralmente desprezável dado que os fluxos de energia associados ao processo de fotossíntese e de

armazenamento de calor na cultura são muitos baixos relativamente às restantes componentes (Thom, 1972).

As transferências de calor sensível e calor latente constituem fluxos turbulentos e correspondem a formas distintas de transferência de energia. Contextualizando o sentido destes fluxos no balanço energético, λE assume valores positivos quando ocorre evaporação e H é positivo quando ocorre aquecimento do ar.

O calor sensível H é a energia transferida por condução e convecção, podendo ser descrita genericamente como a situação em que coexiste um corpo quente e uma atmosfera fria, sendo que na superfície de fronteira o calor (ou energia) é transferido por condução física do corpo para a atmosfera fria e depois por convecção para as camadas de ar mais altas. O fluxo de calor sensível constitui assim, por definição, uma transferência de energia que não causa mudança no estado físico do corpo ou sistema termodinâmico em que ocorre, causando apenas uma alteração de temperatura.

O fluxo de calor latente λE é a energia ou calor que é transferido pelo processo de evaporação da água e também pela sua posterior condensação num ponto mais alto da atmosfera. Utilizando a mesma analogia descrita para o calor sensível, λE é o calor que é absorvido no processo de evaporação e libertado no processo de condensação resultando num movimento de calor entre o corpo quente e os níveis mais altos da atmosfera.

O fluxo de calor do solo G é a componente do balanço de energia que intervém à superfície do solo, sendo especialmente importante quando a vegetação é dispersa, ou em cobertos lenhosos anisotrópicos (cobertos descontínuos). O calor radiante só afeta a camada superficial do solo, dado que este é um mau condutor térmico. No entanto, devido à complexidade dos processos físicos que ocorrem no solo e a complexidade acrescida pelos diferentes tipos de cobertos, esta componente é a mais difícil de medir com rigor (Ezzahar *et al.*, 2012). A dificuldade na determinação do fluxo de calor de solo deve-se principalmente ao facto de englobar processos de condução de calor por condução e convecção (Heitman *et al.*, 2010), os quais sofrem alterações dinâmicas no comportamento ao longo do perfil do solo devidas ao humedecimento total ou parcial do solo associadas à ocorrência de precipitação, bem como ao regime e método de rega.

O fluxo de calor do solo assume valores negativos quando existe condução de calor entre o solo aquecido e o ar envolvente (arrefecimento do solo) e valores positivos quando o solo é aquecido pela incidência da energia radiante.

A determinação de G pode ser efetuada experimentalmente, através do registo da temperatura ao longo do perfil do solo, placas de fluxo de calor, ou por estimativa como uma fração da radiação líquida R_n . Em muitas aplicações envolvendo cálculos de balanço de energia à escala diária o componente G é desprezado ou considerado nulo, porque cada período diário envolve um ciclo positivo em que o solo é aquecido ($G > 0$) e um ciclo de arrefecimento ($G < 0$), o que tende a provocar a quase anulação desta componente à escala diária.

2.5.2 Modelos de balanço de energia mono e multi-camada

Os modelos de balanço de energia aplicados ao coberto vegetal dividem-se entre os modelos mono-camada (*single-layer*), em que o sistema solo-vegetação é representado como uma única superfície de troca de energia com a atmosfera, e os modelos multi-camada (*multi-layer*), em que as transferências de energia do solo e da vegetação com a atmosfera são estimadas separadamente.

2.5.2.1 Modelos mono-camada

Os modelos mono-camada assumem que o solo e a vegetação constituem uma superfície única e homogénea, pelo que as saídas (*outputs*) destes modelos traduzem a evapotranspiração da cultura (transpiração + evaporação do solo), não permitindo estimar estas componentes individualmente.

A equação de Penman-Monteith (P-M), (Monteith,1965), também designada como modelo “big-leaf”, constitui o modelo mono-camada mais conhecido, que integra na determinação da evapotranspiração ET (mm dia⁻¹), a radiação líquida R_n (W m⁻²), o fluxo de calor do solo G (W m⁻²), a resistência aerodinâmica imposta pela atmosfera, r_a (s m⁻¹), bem como fatores de controlo do próprio coberto sobre a transpiração, expressos através das resistências do coberto, r_c (s m⁻¹):

$$ET = \frac{\Delta(R_n - G) + \rho_a C_p DPV / r_a}{\lambda \left[\Delta + \gamma \left(1 + \frac{r_c}{r_a} \right) \right]} \quad (2)$$

Os restantes parâmetros necessários à aplicação da equação P-M são o declive da pressão de saturação de vapor em relação à temperatura (Δ), o défice de tensão de vapor do ar, DPV (kPa °C⁻¹) e as constantes λ (2450 kJ kg⁻¹), C_p (1.013 kJ °C⁻¹), ρ_a (1.225 kg

m^{-3}) e γ ($kPa^{\circ}C^{-1}$), correspondendo respectivamente ao calor latente de vaporização, capacidade térmica mássica do ar a pressão constante, densidade do ar e constante psicométrica. A equação P-M é considerada como um dos modelos mais versáteis para a determinação das taxas de evapotranspiração sobre um coberto vegetal (Jarvis e McNaughton, 1986; Monteith, 1981), e conjuga o balanço de energia com o conceito de resistência associado às transferências de massa e fluxo expresso nos parâmetros r_a e r_c .

De acordo com Shuttleworth e Wallace (1985), o modelo P-M foi elaborado para descrever uma cobertura vegetal horizontalmente homogênea, por isso revela-se inadequado para descrever corretamente as taxas de evapotranspiração em cobertos descontínuos. Esta limitação decorre do facto de que em cobertos descontínuos ou dispersos, o solo e a vegetação contribuem em simultâneo para transferência de calor sensível, pelo que a utilização de modelos mono-camada onde a influência do solo é diminuta pode conduzir a erros muito significativos na determinação da evapotranspiração (Ezzahar *et al.*, 2012). Atendendo a estas limitações de utilização da equação P-M, vários autores propuseram modelos multi-camada que têm em conta uma partição mais detalhada dos fluxos energéticos entre solo-cultura-atmosfera e das resistências que controlam as transferências de calor e energia entre estas interfaces.

2.5.2.2 Modelos multi-camada

Os modelos multi-camada consideram a quantificação separada das componentes solo-atmosfera e cultura-atmosfera, isto é, cada uma destas interfaces contribui separadamente no balanço de energia (eq.1) para as componentes de radiação líquida ($R_n=R_{ns}+R_{nc}$), fluxo de calor sensível ($H=H_s+H_c$) e fluxo de calor latente ($\lambda E=\lambda E_s+\lambda E_c$), em que o índice s corresponde à componente solo-atmosfera e o índice c à componente cultura-atmosfera. Desta forma os modelos multi-camada permitem estimar separadamente as componentes de evaporação do solo E e da transpiração da cultura T que compõem a evapotranspiração ET .

Lhomme *et al.*, (1994) concluíram em trabalhos experimentais envolvendo a quantificação de fluxos de calor com medições térmicas por infra-vermelhos, que o sistema solo-vegetação pode ser descrito com um modelo bi-camada, em que os fluxos de energia com a atmosfera são obtidos separadamente para o solo e a vegetação,

obtendo melhores resultados do que com a aplicação do modelo mono-camada, que tende a sobrestimar o fluxo de calor sensível.

Em cada uma das interfaces consideradas no modelo multi-camada, e tomando como objetivo a determinação do fluxo de calor latente (λE), a dificuldade prática na aplicação desta metodologia é a determinação rigorosa do fluxo de calor sensível H , já que as componentes de radiação líquida R_n em cada interface podem ser determinadas diretamente recorrendo a radiómetros colocados na respetiva superfície de fronteira. A parametrização das resistências aerodinâmicas do coberto e do solo envolvidas (nas transferências de calor, massa e mudança de estado) são também determinantes para definir as componentes do balanço energético, porque traduzem os fatores que se opõem aos fluxos de vapor de água através dos estomas nas folhas (r_c) e a resistência aerodinâmica (r_a) que se opõe às transferências de calor e massa (Verma, 1989).

A primeira utilização experimental de radiómetros de infravermelhos para medir indiretamente a temperatura do coberto foi efetuada por Jackson *et al.*, (1981), tendo posteriormente obtido ampla validação e dado origem a técnicas indiretas mais complexas recorrendo a imagens térmicas para cobrir áreas mais extensas. Lhomme *et al.*,(1992) concluíram que a utilização da temperatura medida por radiómetros de infravermelhos pode ser utilizada nos cobertos vegetais para determinar o fluxo de calor sensível do coberto (H_c), permitindo calcular a taxa de evaporação de água a partir da cultura (transpiração) como termo residual da equação do balanço de energia

De facto, a temperatura foliar pode ser utilizada como um indicador da taxa de transpiração da cultura. O fundamento fisiológico desta proposição baseia-se no fecho estomático que ocorre numa cultura em função do *stress* hídrico. De acordo com Jones *et al.*(2002), a limitação imposta à transpiração pelo fecho dos estomas diminui a dissipação de energia da cultura, provocando um aumento da temperatura foliar. Analogamente, uma cultura em conforto hídrico assume uma taxa de transpiração mais próxima do seu potencial máximo, da qual resulta uma maior dissipação de energia nas folhas que tendem a assumir uma temperatura mais baixa que o ar circundante. Desta forma, a diferença de temperatura entre o ar e as folhas tenderá a ser tanto maior quanto maior a taxa de transpiração da cultura.

Vários investigadores têm proposto metodologias para a determinação da taxa de transpiração cultural através de modelos de balanço energético bi-camada. Rodrigues (2011) descreve um modelo bi-camada para a vinha que resolve a equação do balanço

de energia em função do fluxo de calor latente do coberto (λE_c), equivalente à transpiração, utilizando a temperatura radiativa do coberto para estimar o fluxo de calor sensível. Analogamente, Ezzahar *et al.* (2012) utilizaram um modelo baseado no modelo bi-camada proposto por Lhomme *et al.* (1994) para analisar as componentes de fluxo de calor sensível e latente num olival regado através de medições de temperatura radiativa (infra-vermelhos), tendo concluído que o modelo produzia resultados com uma elevada correlação com os do método das flutuações instantâneas (*eddy-covariance*). Este último é o método atualmente considerado como padrão (o mais direto e rigoroso) para a monitorização dos fluxos turbulentos verticais.

Um dos principais fatores que determinam a transpiração e o processo de fotossíntese nas plantas é a quantidade de radiação que é interceptada pelas folhas. A quantidade de radiação interceptada depende da densidade e distribuição da copa, da radiação incidente e da proximidade entre as copas (Green, 1993). A interceção de radiação pela copa depende do índice de área foliar *LAI* (m^2/m^2) que varia ao longo do ciclo cultural em função da densidade foliar, e que é definido como a relação entre a área foliar e a área de terreno ocupado pela cultura. Estes factos levaram a que a metodologia de balanço energético baseada na temperatura radiativa da copa que se implementada experimentalmente neste trabalho fosse complementada com uma monitorização regular do *LAI*. Na próxima secção descrevem-se as metodologias de determinação do *LAI* aplicáveis ao olival e seus os aspetos mais relevantes.

2.6 Determinação do índice de área foliar (*LAI*) na oliveira

O índice de área foliar (*LAI*) é um parâmetro adimensional (área foliar por área do solo), que foi definido inicialmente como a área foliar envolvida no processo fotossintético, considerando apenas uma das faces da folha, por unidade de terreno coberto (Watson, 1947). Mais recentemente, o *LAI* foi definido por Chen e Black (1991), Chen *et al* (1991), Fassnacht, *et al.* (1994) como metade da área foliar total por unidade de terreno coberto, mantendo-se coerente com a definição anterior proposta por Watson. O *LAI* e a estrutura da copa constituem fatores determinantes para caracterizar as trocas de água e energia entre a copa e a atmosfera (Running e Coughlan 1988, Granier *et al.* 1996). O *LAI* é assim um importante elemento de descrição estrutural da cultura que está diretamente relacionado com processo de transpiração (Bréda e Granier,

1996; Granier *et al.* 1996). É simultaneamente um parâmetro dinâmico, que para uma dada espécie varia com as condições locais, o momento do ciclo cultural e a sazonalidade climática associada às estações do ano (Welles, 1990). A estes fatores associa-se o facto de o *LAI* ser difícil de avaliar com rigor, podendo apresentar resultados variáveis em função do método utilizado para a sua determinação. A quantificação do *LAI* pode ser efetuada através de métodos diretos e indiretos, em que os métodos diretos, sendo mais rigorosos, têm a desvantagem de serem morosos de executar, envolvendo uma recolha e amostragem destrutiva (parcial ou total) das folhas da copa o que dificulta a sua repetição no tempo e no espaço. Os métodos diretos para determinação do *LAI* são assim reconhecidamente incompatíveis para uma análise de longo prazo da dinâmica temporal e espacial do desenvolvimento da área foliar (Jonckheere *et al.*,2004).

Os métodos indiretos para estimar o *LAI* baseiam-se na monitorização de parâmetros dependentes da área foliar e permitem, sem perturbação do objeto de estudo, uma amostragem instantânea e automatizada, viabilizando a estimativa do *LAI* de uma forma mais representativa em termos temporais e espaciais. De entre os métodos indiretos destacam-se os que estão associados a técnicas de deteção remota e os métodos *in situ* baseados em fotografia hemisférica ou na medição da transmissão de radiação através da copa. Estes últimos aplicam a lei da ótica de Beer-Lambert, e assumindo que a radiação total intercetada pela copa depende da radiação incidente e da estrutura e propriedades óticas da copa (Monsi e Saeki, 1953).

Na prática, a determinação do *LAI* através de métodos indiretos pode ser efetuada pontualmente, efetuando leituras com um ceptómetro portátil ao longo do compasso, ou alternativamente, de forma contínua através de radiómetros ou sensores com capacidade para registar a radiação fotossintética ativa (*PAR*) na banda espectral de 400 a 700nm. A utilização de um conjunto de sensores *PAR* na superfície do solo da área de compasso sujeita ao ensombramento pela copa, complementados com um ou mais sensores adicionais de referência acima da copa, constitui um dos métodos indiretos que permite caracterizar a interceção da radiação solar pela copa (Awal *et al.*,2005).

Como já se referiu, o *LAI* é muito variável entre culturas e dependente da estrutura das suas copas, compasso da cultura e do momento do ciclo cultural. Existem vários trabalhos experimentais elaborados no olival para determinação do *LAI* utilizando diversos métodos, no entanto, os valores obtidos pelos vários autores são muito

variáveis. A quantificação experimental do *LAI* por método direto destrutivo em oliveiras jovens das variedades Galega e Cordovil de Serpa na região de Moura, realizada por Simões *et al.*, (2007) registaram valores de *LAI* entre 1.2 e 1.8. Gucci *et al.* (1999) efetuaram na região italiana da Toscana, determinações de *LAI* em oliveiras através do método destrutivo, tendo obtido valores que variaram entre 0.8 para oliveiras jovens com um ano, até 2.8 em oliveiras com 10 anos. Atendendo à definição de *LAI*, os valores obtidos dependem da área foliar da árvore e da área definida pelo compasso que traduz a área de solo explorada por cada árvore. Existem referências em que os valores de *LAI* são expressos apenas em função da área coberta pela copa e tendem por isso a ser mais elevados que os definidos pela área do compasso.

3. Materiais e métodos

3.1 Caracterização dos olivais analisados

Os trabalhos experimentais descritos neste trabalho foram conduzidos durante os anos de 2011 e 2012 em dois olivais jovens regados no Alto Alentejo com uma exploração económica dirigida para a produção de azeite e adotando práticas de gestão atuais com recurso à mecanização nos processos de poda e colheita:

- i) Olival AC: olival intensivo com compasso de 8×4.2m, situado na Herdade do Álamo de Cima em São Manços, concelho de Évora, explorado pela Fundação Eugénio de Almeida (38°29'49"N, 7°45'12"W, elev.220m) (Figura 2), onde se selecionaram como objeto de estudo um conjunto de linhas da variedade Cobrançosa plantadas em 2001 e com um diâmetro médio de copa de 3.7 m.
- ii) Olival OS: olival superintensivo, com compasso de 3.75×1.35m e oliveiras da variedade Arbequina, e com um diâmetro médio de copa de 1.4m, plantado em 2008 e explorado pela empresa Olivais do Sul - sociedade agropecuária, Lda., Herdade da Azambuja, situado em Monte do Trigo, concelho de Portel, (38°24'47"N, 7°43'38"W elev.182m) (Figura 3).

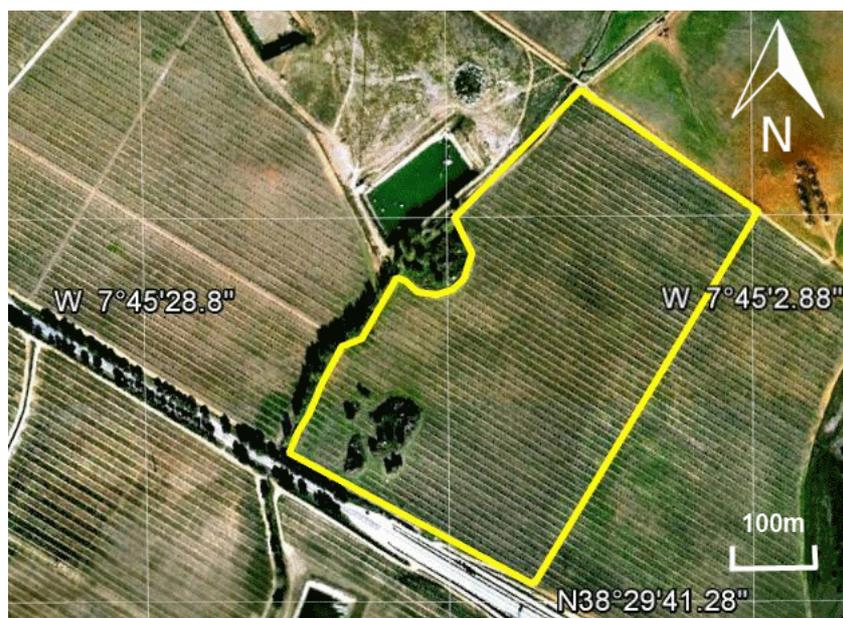


Figura 2- Localização da parcela experimental do olival AC na herdade do Álamo de Cima (Fonte: Google Earth 2012)



Figura 3- Localização da parcela experimental do olival OS na exploração Olivais do Sul (Fonte: Google Earth 2012)

O olival AC tem uma estação meteorológica automática, que constitui, no âmbito deste trabalho a principal fonte de dados meteorológicos. Os dois olivais monitorizados situam-se a uma distância entre si de cerca de 9.7 Km, pelo que as condições climáticas dos dois locais se podem considerar muito semelhantes, permitindo a utilização dos dados da estação meteorológica do olival AC como referência para os dois olivais. O clima na região em estudo tem características típicas de clima Mediterrânico semiárido, caracterizado por precipitação moderada durante o Outono e Inverno e por elevadas temperaturas e baixa precipitação durante os meses de Verão. A baixa precipitação registada e a sua elevada irregularidade, bem como os elevados valores de ET_0 que se verificaram no período estudado, especialmente em 2012, são indicadores da importância do regadio para suplementar as necessidades de rega do olival na região face às condições climáticas locais.

As características dos solos são semelhantes em ambos os olivais, tendo-se efetuado um estudo através da abertura de perfis de solo no olival OS, da qual se concluiu que o solo tem uma espessura de cerca de 1m, com textura franco-arenosa e classificação de *Ppq* (solo litólico não húmico, pouco insaturado, de quartzodioritos ou rochas afins), seguindo a classificação de Cardoso (1974). Nos dois olivais foi também adotada a prática do enrelvamento das entrelinhas, com o objetivo de minimizar o

escoamento superficial e reduzir a erosão da camada superficial do solo.

As dimensões médias das árvores em cada olival foram determinadas através de uma amostragem de oliveiras representativas das parcelas dos olivais estudados e os resultados obtidos estão listados no Anexo 1.

3.2 Caracterização da rega nos olivais em estudo

Para a rega, os olivais em estudo, OS e AC, recorrem ao sistema de regadio do Alqueva como fonte de água e são servidos por um sistema de rega gota-a-gota, com gotejadores autocompensantes dispostos em linha. O olival AC é regado nas condições definidas pela entidade gestora (calendarização e tempos de rega), através de gotejadores com um caudal de 1.6 Lh^{-1} separados por 1 metro, enquanto o olival superintensivo OS é servido em condições normais de exploração por gotejadores com débito de 2.3 Lh^{-1} , espaçados 0.75m entre si.

Com o objetivo de comparar o comportamento do olival em diferentes regimes de rega, para cada um dos olivais em estudo (OS e AC), foram estabelecidas sub-parcelas, em que, mantendo a calendarização e o mesmo tempo de rega que a entidade gestora adota habitualmente, se impuseram regimes de rega diferenciados, utilizando em cada sub-parcela linhas de gotejadores com débitos diferentes, mantendo contudo o espaçamento original entre os emissores. Os regimes de rega estabelecidos foram designados como R1 para os regimes de rega normal aplicados pelas entidades exploradoras e R2 para os regimes de rega modificados.

O regime de rega modificada R2 não foi igual nos dois anos em estudo, optando-se no ano de 2012 por fazer alterações no regime modificado R2 em relação ao adotado no ano de 2011 com o objetivo de acentuar a diferença entre os regimes de rega. O mapa de rega em função dos diferentes regimes de rega definidos em cada olival e os respetivos períodos estão descritos de forma simplificada no Anexo 2. Em cada olival o tempo de rega definido para a rega R1 e R2 é idêntico e o sistema de rega funciona em simultâneo, o que significa que a diferença entre as dotações definidas para cada sub-parcela pelas regas R1 e R2 é definida apenas pelo débito diferenciado dos gotejadores. A Tabela 3 resume as características das linhas de rega nos olivais estudados e as modalidades de rega aplicadas.

Tabela 3- Características das linhas de gotejadores utilizadas em cada modalidade de rega nos olivais em estudo.

Olival	Débito (L/h)		Espaçamento (m)	Rácio de gotejadores/árv
	R1	R2 ^(*)		
AC	1.6	2.3	1.00	4.2
OS	2.3	1.6	0.75	1.8

^(*) Em 2011 a rega modificada R2 só foi implementada temporariamente, tendo no restante período assumido as mesmas características da rega normal R1.

3.3 Determinação das variáveis meteorológicas

A principal fonte de dados meteorológicos utilizados neste trabalho foi a estação meteorológica automática situada na herdade Álamo de Cima (olival AC), que registou os dados com uma periodicidade horária e efetuou de forma autónoma o cálculo diário da ET_0 pelo método (FAO-Penman-Monteith). Devido à inexistência de uma estação meteorológica no olival OS, considerou-se que os parâmetros registados no olival AC são simultaneamente representativos do olival OS. Este pressuposto leva em conta que as condições meteorológicas não variam de forma significativa entre os dois olivais estudados devido à grande proximidade geográfica e também por existirem entre estes locais uma similitude das cotas, existência de condições de relevo regular e ausência de obstáculos orográficos. No entanto, decorrente deste facto, é necessário assumir que possa existir uma eventual perda de rigor nos dados meteorológicos considerados para o olival OS.

3.4 Medição da transpiração da oliveira através da medição do fluxo de seiva

A base teórica da utilização das sondas de fluxo de seiva baseia-se no pressuposto que o fluxo de seiva que percorre o tronco corresponde à quantidade de água extraída do solo pelo processo de transpiração da árvore. Os trabalhos experimentais de medição de fluxo de seiva realizados neste trabalho foram conduzidos com base na experiência adquirida em trabalhos anteriores envolvendo a monitorização prolongada do olival com este equipamento (Valverde, 2005), onde se concluiu que o método permite estimar taxas de transpiração coerentes com a dimensão da copa da árvore, solicitação evapotranspirativa da atmosfera e *status* hídrico do solo. Uma das vantagens práticas

identificadas anteriormente na aplicação deste método traduz-se na capacidade de monitorizar o fluxo de seiva com elevada resolução temporal durante longos períodos, tendo-se verificado que uma instalação das sondas de fluxo de seiva em troncos de oliveiras permite em condições normais monitorizar a transpiração da árvore em contínuo durante vários meses, sem necessidade de proceder à reinstalação das sondas (Valverde, 2005). No presente trabalho, que incidiu em olivais jovens com uma taxa de desenvolvimento rápida, optou-se por introduzir pequenas alterações em relação ao processo de cálculo utilizado originalmente de modo a melhorar o rigor de cálculo em períodos longos de monitorização contínua. Essas alterações permitiram a inclusão no cálculo da variação temporal dos parâmetros dimensionais dos troncos em vez de seguir a abordagem original, mais simples, de considerar fixas as dimensões dos troncos.

Nas próximas secções descrevem-se com detalhe as sondas utilizados na medição do fluxo de seiva e a sua metodologia de instalação, bem como método de cálculo utilizado para estimar a transpiração.

3.4.1 Descrição das sondas de fluxo de seiva e metodologia de instalação

As sondas de fluxo de seiva utilizadas foram fornecidas pela empresa Tranzflo NZ Ltd., Palmerston North, New Zealand, e seguem como metodologia de funcionamento o método *HPV (Heat-Pulse Velocity)* e a técnica (*CHP Compensation Heat Pulse*). O sistema completo é controlado por *dataloggers Campbell* (Campbell Scientific Inc., Logan, UT) modelos CR10X e CR1000 que controlam o funcionamento do sistema e o registo de dados. Como cada datalogger CR10X só permite conectar 3 conjuntos de sondas, no olival AC foram utilizados *multiplexers Campbell AM25T* acoplados aos *dataloggers* de forma a permitir a leitura de 6 sondas por cada *datalogger*.

Cada conjunto de sondas é constituído por três elementos inseridos radialmente no tronco e alinhados na vertical: uma sonda de aquecimento e duas sondas equipadas com vários termopares ao longo do seu comprimento para registar temperaturas. A sonda de aquecimento consiste numa resistência elétrica de *Nichrome* inserida num tubo de aço inoxidável de 1.63mm de diâmetro, e as sondas de medição de temperatura são constituídas por um tubo flexível de *Teflon* com 1.7mm de diâmetro, contendo no seu interior termopares colocados a distâncias fixas ao longo do seu comprimento. As sondas utilizadas no olival AC têm quatro sensores de temperatura (termopares)

colocados às profundidades (distâncias) de 0.50, 1.20, 2.10 e 3.20 cm. Devido ao pequeno diâmetro dos troncos, no olival OS utilizaram-se sondas mais pequenas e com três termopares, com os sensores de temperatura colocados às profundidades de 0.50, 1.00 e 1.50cm no tronco.

Os parâmetros dimensionais do tronco necessários ao cálculo do fluxo de seiva expressos em (m) são: raio do tronco (R), espessura do *heartwood* (hw) (zona sem condução de seiva), espessura do *sapwood* (sw) (zona de condução de seiva) e as distâncias entre as sondas de jusante e montante relativamente à sonda de aquecimento ($X_d = 10\text{mm}$ e $X_u = 5\text{mm}$). A Figura 4 descreve a colocação das sondas no tronco e esquematiza os parâmetros dimensionais, necessários para o cálculo do fluxo de seiva.

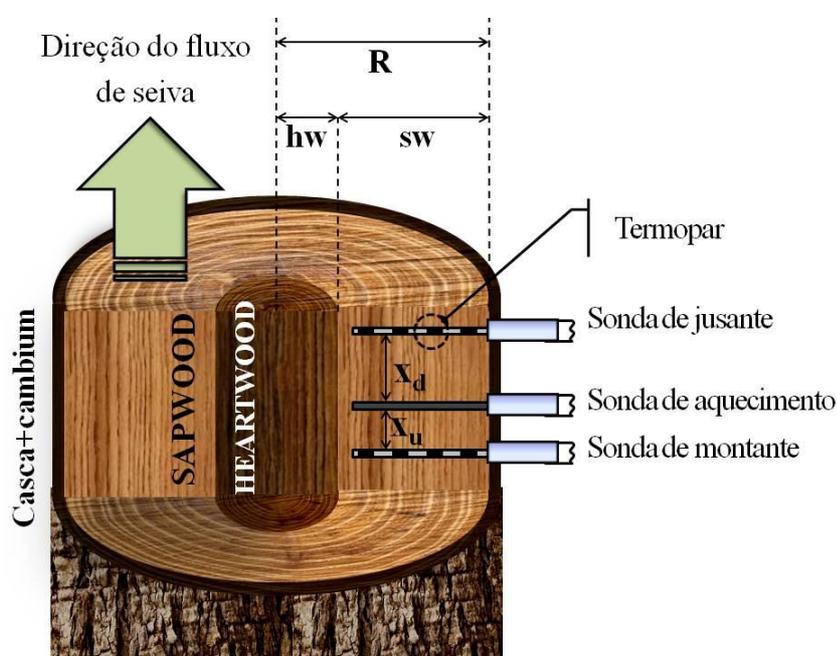


Figura 4 - Esquema de instalação de um conjunto de sondas para medição do fluxo de seiva num tronco através do método *Compensation Heat Pulse*

Através desta técnica, determina-se a velocidade do fluxo de seiva no tronco da árvore pela aplicação momentânea de calor com a sonda de aquecimento na zona do tronco onde existe movimento de seiva no sentido ascendente (xilema). O calor aplicado é transportado através do tronco e é rastreado pelos sensores de temperatura (termopares) existentes no interior das sondas e a várias profundidades no tronco, sendo desta forma possível determinar a velocidade com que o calor se propaga entre a sonda de aquecimento (emissora de calor) e as outras duas sondas de temperatura colocadas a

distâncias fixas, uma 5mm a montante e outra 10mm a jusante do emissor de calor.

O transporte do calor aplicado pela sonda de aquecimento no tronco é efetuado de duas formas: i) por condução térmica através da madeira e, ii) por convecção pela seiva que ascende pelo xilema. A existência de duas sondas de temperatura, uma a montante e outra a jusante permite separar estes dois tipos de transporte de calor e isolar a componente de transporte do calor pela seiva, a partir do qual se pode estimar a velocidade com que esta circula no tronco monitorizado. Obtendo essa velocidade, e conhecendo as dimensões da área transversal do tronco onde circula a seiva, é possível calcular o fluxo de seiva que percorre o tronco.

A instalação das sondas é efetuada numa face homogénea da base do tronco em árvores com porte e características representativas da população da parcela, evitando a proximidade de ramos ou zonas danificadas que possam induzir alterações locais ao fluxo de seiva. Uma vez escolhida uma zona do tronco que reúna estas condições, são efetuados com uma broca de 1.8mm três orifícios alinhados no sentido longitudinal do tronco, para inserir os três elementos da sonda. O alinhamento é assegurado através de uma peça-guia fornecida pelo fabricante das sondas, que no momento da instalação, garante que os orifícios de instalação das sondas resultem paralelos, e que as distâncias entre os elementos da sonda correspondem às distâncias fixas X_d e X_u já descritas, de modo a que os termopares das sondas de temperatura de montante e jusante se situem na zona de circulação de seiva e alinhados verticalmente. A Figura 5 representa o aspeto final das sondas após a sua instalação no tronco.



Figura 5- Aspeto exterior da instalação das sondas HPV

Uma instalação correta das sondas de fluxo de seiva no tronco deve ter também em conta as características de forma e dimensão do mesmo. Os troncos selecionados para a instalação devem idealmente ter uma secção transversal com uma forma circular bem definida, de modo a permitir, nos cálculos posteriores, quantificar de forma rigorosa a sua área transversal. Os troncos das árvores tendem a assumir uma secção irregular, especialmente nas árvores mais velhas e com troncos de maior diâmetro. Este facto faz com que a área de circulação de seiva no interior do tronco tenha também uma forma mais irregular, sendo nestes casos conveniente instalar sondas em várias faces do tronco de modo a obter uma caracterização mais abrangente e representativa do fluxo de seiva.

No olival AC, devido ao maior diâmetro do tronco, instalaram-se dois conjuntos de sondas por tronco, aproximadamente a uma altura de 50cm do solo nas faces orientadas a Sul e Norte, monitorizando-se no total 6 árvores (3 árvores em cada modalidade de rega). No olival OS, as árvores foram monitorizadas com apenas uma sonda por tronco instalada a cerca de 30cm do solo. Em troncos de pequeno diâmetro é inviável a instalação de mais de um conjunto de sondas sob pena de introduzir uma perturbação significativa ao fluxo de seiva causada pelo maior número de orifícios e, também para evitar que o calor emitido por cada conjunto de sondas cause interferências entre si. No olival OS monitorizaram-se no total 6 árvores (3 em cada uma das duas modalidades de rega).

A operação de cada conjunto de sondas de fluxo de seiva foi controlada por um datalogger *Campbell*, que através de um programa interno específico, implementou a seguinte sequência de ações:

- i) A cada 30min a sonda de aquecimento é ativada durante 1segundo.
- ii) As temperaturas lidas pelos termopares (a cada profundidade) das sondas de jusante e montante são comparadas continuamente até que os termopares de jusante e montante atinjam a mesma temperatura (ou equilíbrio térmico). O tempo desde a ativação da sonda de aquecimento até ao equilíbrio térmico a cada profundidade é registado como o tempo t_z (s) e registado na memória do datalogger.
- iii) No final do processo ficam registados a cada 30 minutos e por cada conjunto de sondas, 4 valores t_z que correspondem às quatro profundidades dos termopares no tronco (no caso das sondas pequenas em vez de 4 obtêm-se 3 valores t_z).

Após o registo dos tempos t_z acumulados no datalogger, e atendendo às características específicas das sondas utilizadas (número de sensores), procede-se ao cálculo do fluxo de seiva através da metodologia que em seguida se descreve.

3.4.2 Metodologia de cálculo do fluxo de seiva

Para cada profundidade dos sensores de um conjunto de sondas é registado o tempo até ao equilíbrio térmico, expresso pelo tempo t_z (s), que corresponde ao tempo após a emissão de calor em que as temperaturas às distâncias X_d e X_u (m) se igualam. Desta forma, a velocidade V (m/s) do impulso de calor a cada profundidade é calculada através da equação:

$$V = \frac{X_d - X_u}{2t_z} \quad (3)$$

Esta velocidade V representa a velocidade vertical média da seiva no xilema, assumindo que o impulso de calor emitido é transportado para jusante desde o elemento de aquecimento até um ponto médio entre as duas sondas de temperatura após decorrido o tempo t_z . A velocidade V obtida é ainda sujeita a uma correção com o objetivo de compensar a perturbação da circulação de seiva causada localmente pela introdução das sondas no xilema. Esta perturbação leva a subestimar os valores de velocidade (V) do impulso de calor, pelo que a correção é aplicada através da eq.(4), que define a velocidade corrigida V_c (m/s):

$$V_c = a + bV + cV^2 \quad (4)$$

Na eq.(4), os parâmetros a , b e c são constantes de calibração tabeladas (Anexo 3), que dependem do diâmetro efetivo dos orifícios de instalação das sondas ww (*wound width*) e dependem também das características físicas da madeira do tronco. O diâmetro efetivo do orifício é um pouco maior que o diâmetro da broca utilizada (1.8mm) devido ao desgaste mecânico exercido pela perfuração, podendo ser estimado, para cada cultura através de experiências de calibração em que se compara o fluxo de seiva real com o fluxo de seiva medido pelas sondas. Fernández *et al.* (2001) conduziu trabalhos experimentais de calibração para a oliveira utilizando as mesmas sondas e métodos de instalação que foram utilizados neste trabalho, tendo concluído que o melhor ajustamento é obtido considerando uma *wound width* de $ww=2.0\text{mm}$.

A densidade do fluxo de seiva J (m s^{-1}) é o parâmetro que permite relacionar a velocidade do impulso de calor obtida pelos tempos t_z com o fluxo de seiva. Edwards e Warwick (1984), consideram que a densidade do fluxo no xilema depende das três fases presentes: líquida, sólida e gasosa, e propuseram para o cálculo de J , a equação:

$$J = (0.441 F_M + F_L) V_c \quad (5)$$

O parâmetro F_M corresponde à fração de madeira seca e F_L à fração de água no tronco obtidas por amostragem. A constante 0.441 é função das características de condução térmica da madeira que constitui o tronco e é assumida como constante entre espécies (Green *et al*, 2003; Becker e Edwards, 1999).

A determinação das frações de madeira seca (F_M) e de água (F_L) e das espessuras do *sapwood* (xilema) e *heartwood* no tronco exigem ações de amostragem periódicas, dado que estes parâmetros variam ao longo do tempo e também com o estado de conforto hídrico da cultura. A amostragem destes parâmetros foi feita periodicamente através de uma verruma *Suunto increment borer* de 6", que permite obter uma amostra cilíndrica longitudinal com 5mm de diâmetro e 6 polegadas (15.24cm) de comprimento desde a face do tronco até ao seu interior. A Figura 6 e a Figura 7 ilustram respetivamente a utilização da verruma para a extração de amostras do tronco e o aspeto das amostras após a extração.



Figura 6- processo de extração de uma amostra de madeira com uma verruma na face de um tronco de oliveira.



Figura 7- Pormenor de uma amostra de madeira em que se identifica a secção compacta de cor clara do *sapwood* e uma secção exterior mais escura da casca (o *heartwood* não é identificável).

As espessuras do *sapwood* e do *heartwood* podem ser medidas diretamente na amostra através da diferença na coloração visível, dado que o *heartwood* apresenta uma cor mais escura que o *sapwood*. Nas oliveiras dos olivais AC e OS, não foi possível

identificar *heartwood* por as árvores serem ainda muito jovens e não possuem um *heartwood* bem definido. Desta forma, considerou-se neste trabalho que toda a secção dos troncos abaixo da casca é condutora de seiva. Trabalhos experimentais anteriores em oliveiras jovens com medições de fluxo de seiva (Valverde, 2005) já tinham mostrado que o *heartwood* não é observável visualmente em oliveiras jovens, facto que se confirmou também neste trabalho.

Para determinar os parâmetros F_M e F_L a partir de uma amostra de madeira obtida com a verruma seguiu-se o seguinte procedimento laboratorial:

- i) Obter uma amostra radial inteira de madeira através da verruma e acondicioná-la em folha de alumínio numa caixa hermética, de modo a preservar o seu teor de humidade original durante o tempo de transporte.
- ii) No mais breve tempo possível após a colheita da amostra, e em laboratório, utilizou-se uma balança de elevada precisão (pelo menos 0.001g) para obter a massa inicial da amostra M_F (kg).
- iii) O volume da amostra é obtido através do princípio de Arquimedes. Submergindo a amostra num recipiente de água destilada, e através de uma balança de precisão procede-se à medição da massa submersa. Esta massa equivale à massa de água deslocada D_T (kg).
- iv) A amostra de madeira é seca numa estufa durante 24 horas a uma temperatura constante de 66°C, obtendo-se depois a massa final seca da amostra M_D (kg).

Uma vez reunidos estes parâmetros em laboratório, o volume total da amostra V_T (m³), pode ser calculado considerando a massa específica da água $\rho_L = 1000$ kg m⁻³ e a massa de água deslocada D_T (kg), através da equação:

$$V_T = D_T / \rho_L \quad (6)$$

A massa de água da amostra M_T (kg) foi determinada pela diferença entre a massa inicial e a massa seca da amostra:

$$M_T = M_F - M_D \quad (7)$$

As frações madeira seca F_M e de água da amostra F_L foram obtidas através das seguintes equações, em que $\rho_M = 1530$ kg m⁻³ é uma constante que corresponde à massa específica da madeira:

$$F_M = M_D / (\rho_M V_T) \quad (8)$$

$$F_L = M_L / (\rho_L V_T) \quad (9)$$

Devido ao carácter destrutivo deste procedimento de amostragem, convencionou-se estabelecer um intervalo de aproximadamente um mês entre as ações de amostragem. Considera-se que este intervalo de tempo concilia de forma equilibrada a necessidade de obter a informação necessária para o cálculo do fluxo de seiva em função das variações de hidratação do xilema evitando causar danos desnecessários às árvores pela repetição excessiva do processo de amostragem.

Uma vez reunidos todos os parâmetros relativos ao tronco necessários para o cálculo da densidade de fluxo J , este foi calculado tendo em conta a disposição espacial dos termopares das sondas de temperatura a várias profundidades no tronco, de forma a obter o perfil de velocidade do fluxo de seiva no tronco em função do seu raio r . Este cálculo é expresso através do ajustamento de uma regressão de segunda ordem aos valores de J através da seguinte equação:

$$J(r) = \alpha r^2 + \beta r + \gamma \quad (10)$$

A integração da função $J(r)$ na secção transversal do xilema permite assim obter o fluxo de seiva volumétrico que percorre o tronco Q ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$):

$$Q = \int_H^R 2\pi J(r) dr \quad (11)$$

O integral na eq.(11) pode ser resolvido matematicamente através de vários métodos com diferentes graus de complexidade. Green *et al.* (1998) descrevem três métodos, designados por SUM, VEL e FLX, para resolver matematicamente a eq.(11), apontando o método SUM como o mais adequado quando os perfis de velocidade de seiva no tronco têm uma curvatura acentuada na proximidade do *cambium* (ver Figura 4). O método SUM é descrito matematicamente pela eq.(12), que resolve o integral através da soma ponderada do produto da velocidade corrigida V_c (m s^{-1}) pela área de xilema que lhe está associada A (m^2) em cada profundidade i (m).

$$Q = \sum_i A_i V_{ci} \quad (12)$$

Em experiências de calibração deste equipamento de fluxo de seiva na oliveira efetuadas por Fernández *et al.*(2004), procedeu-se à comparação dos resultados de vários métodos de resolução do integral da eq.(11), em que para além das sondas, os valores reais de fluxo de seiva foram obtidos simultaneamente através de um outro dispositivo experimental elaborado para o efeito. Destes trabalhos concluiu-se que a melhor correlação foi obtida com o supracitado método SUM. Com base nessas considerações, optou-se neste trabalho por adotar no cálculo o método SUM através da eq.(12). Esta opção permite simplificar significativamente os cálculos e agilizar o tratamento do grande volume de dados obtidos na monitorização prolongada do fluxo de seiva sem recorrer a aplicações informáticas específicas, tendo-se utilizado para o efeito uma folha de cálculo *Excel*.

Na folha de cálculo *Excel*, elaborada neste trabalho para o tratamento dos dados de fluxo de seiva, introduziram-se melhorias no processo de cálculo relativamente ao *software* HPV2004 fornecido pelo fabricante das sondas e utilizado em anteriores trabalhos experimentais de medição de fluxo de seiva em olivais (Valverde, 2005). A principal alteração foi a inclusão no cálculo da variação temporal dos parâmetros do olival ao longo do longo período de monitorização contínua. Tendo em conta que os olivais em estudo são jovens e apresentam uma taxa de crescimento físico relativamente elevada, integrou-se na folha de cálculo uma função que permite interpolar as dimensões do tronco obtidas através de medições regulares do diâmetro total e espessura de *sapwood* ao longo do tempo. Obteve-se assim uma série temporal de resultados que foram sendo ajustados ao desenvolvimento da cultura, sem necessidade de conduzir os cálculos separadamente para cada período. Os detalhes da instalação das sondas e dos troncos das árvores monitorizadas estão descritos no Anexo 4.

Assumindo que o fluxo de seiva obtido Q ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$) corresponde à taxa de transpiração T da árvore, a operação das sondas de fluxo de seiva devolve, por dia e para cada conjunto de sondas, um total de 48 valores de transpiração, expressos em litros/árvore/hora correspondentes aos intervalos de medição de 30 minutos. Na folha de cálculo elaborada incluiu-se também a conversão dos resultados da transpiração para unidades de litros/árvore/dia, tendo-se adotado a metodologia já definida anteriormente

por Valverde (2005) e baseada num método de integração gráfica, análogo ao método matemático de integração com decomposição trapezoidal, expresso na eq.(13):

$$T = \sum_{n=1}^{47} \left(0.5 \left(\frac{T_n + T_{n+1}}{2} \right) \right) \quad (13)$$

Em que cada n presente nos limites do somatório corresponde a um intervalo de 30 min e o fator 0.5 corresponde à conversão de litros/hora em litros/30min. O método determina a área debaixo da curva definida pelos pontos T_n , tal como ilustrado na Figura 8, aproximando-a a uma sucessão de retângulos.

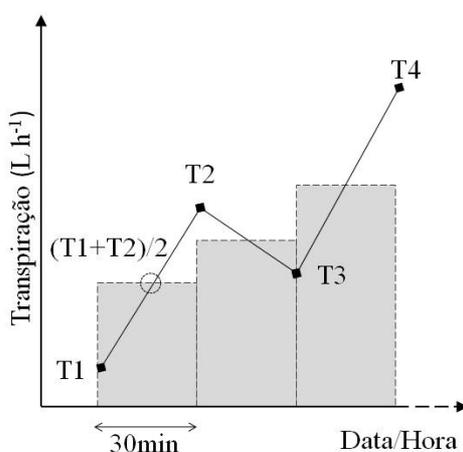


Figura 8- Representação gráfica do método utilizado para converter a taxa de transpiração T (Lh^{-1}) obtida em intervalos de 30 min em taxa de transpiração diária ($L dia^{-1}$)

3.5 Determinação da transpiração da oliveira através do balanço de energia

O modelo adotado de balanço de energia utiliza a abordagem *dual-layer* ou bi-camada que, através do particionamento da contribuição separada dos fluxos de energia do coberto e do solo para o balanço de radiação da copa, permite estimar a transpiração do olival. Este modelo de balanço de energia bi-camada e a abordagem específica seguida no decurso neste trabalho foram já utilizados com sucesso em outros trabalhos, nomeadamente por Rodrigues (2011) numa vinha de regadio em sebe. O olival de regadio intensivo e superintensivo é muito semelhante em termos de ocupação do terreno com a vinha de regadio, dado que a disposição espacial dos atuais olivais intensivos e superintensivos em linhas e com pequeno espaçamento entre si, é muito análoga à disposição em sebe característica da vinha.

Nas secções seguintes descreve-se a metodologia de cálculo utilizada no modelo

de balanço de energia do coberto, e também os sensores utilizados para obtenção dos parâmetros necessários para estimar a transpiração cultural. Para preservar a linearidade e clareza da exposição da metodologia de cálculo, alguns dos cálculos intermédios e de conversão foram remetidos para a secção 3.5.4.

3.5.1 Descrição do modelo bi-camada utilizado para o balanço de energia do coberto

O balanço de energia do coberto pode ser expresso (desprezando a energia envolvida nos processos de fotossíntese e advecção), pela eq.(14), expressando a radiação líquida sobre a copa R_n (W m^{-2}) em função da soma das componentes de energia que atuam no coberto vegetal:

$$R_n = H + G + \lambda E \quad (14)$$

Os termos principais do balanço de energia, correspondentes a ganhos ou perdas de energia para a superfície do coberto, são para além da radiação líquida R_n , o fluxo de calor sensível H (W m^{-2}), fluxo de calor de e para o do solo G (W m^{-2}) e fluxo de calor latente λE (W m^{-2}). A aplicação da eq.(15) assume que as trocas de energia associadas ao armazenamento de calor na copa são nulas e que a componente da radiação líquida R_n , representa, neste contexto, a energia que é responsável por esses fluxos de calor.

A abordagem bi-camada, considera que cada uma das componentes do balanço de energia, H , R_n e λE se associa a duas superfícies de troca de energia (coberto e solo), também designadas por “camadas”, seguidamente identificadas pelos índices (c) para o coberto e (s) para o solo. A superfície de troca formada pelo coberto vegetal é assim constituída pelas componentes H_c , R_{nc} , λE_c e a superfície de troca formada pelo solo, pelas componentes H_s , R_{ns} e λE_s . Esta divisão das componentes é definida pelas seguintes equações:

$$R_n = R_{nc} + R_{ns} \quad (15)$$

$$H = H_c + H_s \quad (16)$$

$$\lambda E = \lambda E_c + \lambda E_s \quad (17)$$

Estas componentes de transferência de energia atuam em paralelo no coberto e

estão representadas na Figura 9, onde também se representam o conjunto dos parâmetros dimensionais necessários à implementação do modelo: altura da copa h_c (m), altura de referência solo-atmosfera h_r (m), altura do plano de referência d (m) e rugosidade do solo no z_0 (m). As definições e enquadramento destes parâmetros dimensionais no modelo descrevem-se com mais pormenor na secção 3.5.3, onde também se definem as resistências aerodinâmica do coberto e da camada limite da copa associadas ao fluxo de calor sensível do coberto H_c , bem como o contexto de aplicação nos cálculos das temperaturas do ar T_a (°C) e da copa T_c (°C).

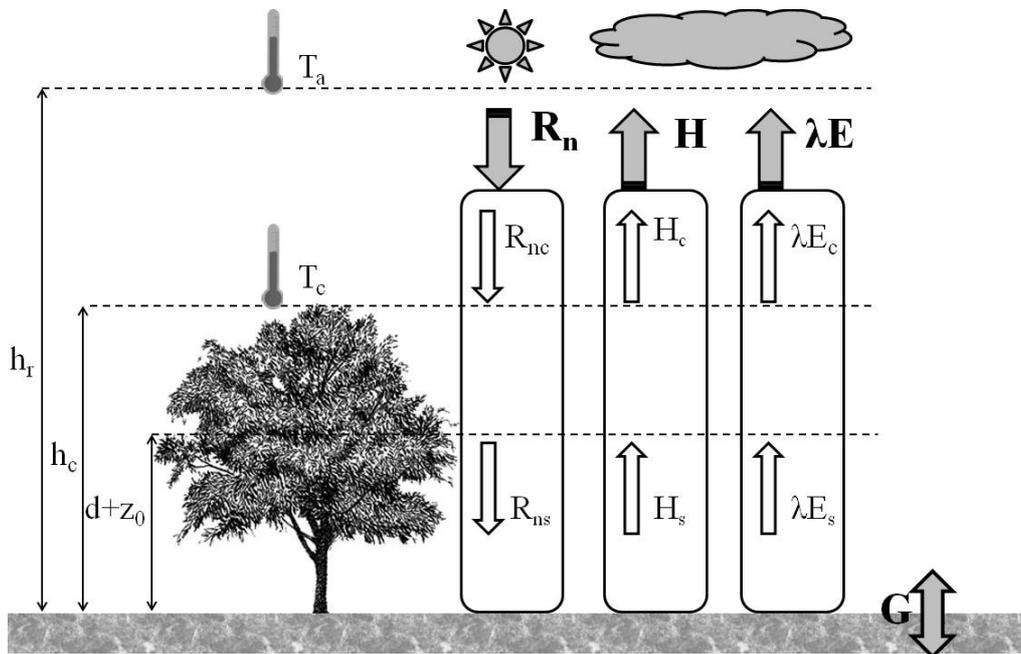


Figura 9- Esquema dos componentes do balanço energético do olival relativamente à copa e ao solo

Assumindo que a transpiração da cultura depende apenas das trocas de energia entre a copa e a atmosfera, representados na Figura 9 como os componentes de balanço de energia acima da superfície definida pela altura da copa h_c , e considerando a atuação paralela desses componentes de balanço energético da copa, o fluxo de vapor da cultura E_c traduz a transpiração T (mm), e pode ser determinado a partir da transferência (fluxo) de calor latente do coberto λE_c pela equação:

$$E_c = \frac{R_{nc} - H_c}{\lambda} \quad (18)$$

Da equação 18 resulta que os parâmetros necessários para estimar a transpiração se reduzem às componentes de calor sensível da copa (H_c) e radiação líquida sobre a

copa (R_{nc}). A metodologia para determinar estas duas componentes com base em dados obtidos no terreno é descrita nas próximas secções. Note-se que esta metodologia permite que se possa obter a transpiração do coberto (E_c) de forma independente das trocas de energia ao nível do solo expressas por E_s .

3.5.2 Determinação da radiação líquida do coberto (R_{nc})

A partir da eq.(15), as radiações líquidas absorvidas pela copa (R_{nc}) e pelo solo (R_{ns}), são separadas utilizando uma abordagem análoga à lei de Beer, de atenuação exponencial da radiação líquida total sobre a copa R_n , proposta por Kustas e Norman (1999), em que φ (radianos) é o ângulo solar zenital, LAI ($m^2 m^{-2}$) o índice de área foliar e k_e o coeficiente de extinção. O coeficiente de extinção será definido e descrito com mais detalhe na secção 3.7.

$$R_{nc} = R_n - R_{ns} = R_n \left[1 - \exp\left(\frac{-k_e LAI}{\sqrt{2} \cos(\varphi)}\right) \right] \quad (19)$$

A equação eq.(19) é aplicável para cobertos com copas dispersas ou distribuídas aleatoriamente. Quando as copas estão alinhadas ou agrupadas, a área foliar intercepta apenas 70% a 80% da radiação, em comparação com uma área foliar dispersa aleatoriamente (Campbell e Norman, 1998). Atendendo a este facto, vários modelos foram desenvolvidos para corrigir a intercepção da radiação resultante de uma distribuição de copas agrupadas. Campbell e Norman (1998) propuseram, para copas agrupadas, uma correção do LAI através do seu produto com um fator de agrupamento Ω , definido em função do ângulo solar zenital φ (radianos), substituindo assim o LAI pela expressão $\Omega(\varphi)LAI$:

$$\Omega(\varphi) = \frac{\Omega(0)}{\Omega(0) + [1 - \Omega(0)] \exp(-2.2\varphi^p)} \quad (20)$$

O $\Omega(0)$ é o fator de agrupamento quando a copa é vista na sua projeção vertical ou do nadir ($\varphi=0^\circ$), e p (m) é um parâmetro dependente do rácio entre a altura e a largura da copa D (m/m):

$$p = 3.8 - 0.46D \quad (21)$$

O fator $\Omega(0)$ foi estimado a partir do LAI e da fração de cobertura do solo f_c . Em

cobertos distribuídos de forma homogénea e com uma distribuição de folhas de forma esférica, a fração de cobertura do solo é descrita através da equação:

$$f_c = 1 - \exp(-0.5 \Omega(0) LAI) \quad (22)$$

Para culturas com copas dispostas em linha, e admitindo que no seu interior as folhas se distribuem aleatoriamente, a fração de cobertura também pode assumir a forma da equação:

$$f_c = 1 - \left[\left(1 - \frac{L_L}{L_{EL}} \right) + \left(\frac{L_L}{L_{EL}} \right) \exp(-0.5 LAI_L) \right] \quad (23)$$

Em que L_L (m) é a largura média das copas na linha, L_{EL} (m) a distância entre linhas e LAI_L é o índice de área foliar relativo à área correspondente à largura da linha:

$$LAI_L = LAI(L_{EL} / L_L) \quad (24)$$

Desta forma, de acordo com a metodologia descrita por (Rodrigues, 2011) o fator de agrupamento na vertical $\Omega(0)$ foi obtido igualando as equações (22) e (23).

No cálculo da R_{nc} com a eq.(19), a inclusão da correção do LAI através do fator de agrupamento $\Omega(\varphi)$ resulta na eq.(25), que foi a forma de cálculo utilizada:

$$R_{nc} = R_n \left[1 - \exp\left(\frac{-k_e \Omega(\varphi) LAI}{\sqrt{2 \cos(\varphi)}} \right) \right] \quad (25)$$

Note-se que para a resolução da equação 18, necessária para calcular a transpiração E_c das oliveiras, um dos parâmetros, o R_{nc} é obtido com a eq.(25). O domínio matemático da eq.(25) implica que esta só possa ser utilizada durante o período diurno, em que o ângulo zenital φ (radianos) corresponda a um ângulo acima do horizonte. A radiação líquida total sobre a copa R_n ($W m^{-2}$), foi medida com um radiómetro *Nr Lite Net Radiometer* (Kipp & Zonen, The Netherlands) colocado no cimo da copa e a uma altura de 4m do solo, num poste fixo ao tronco de uma árvore. Os dados foram registados em intervalos de 30 minutos através de um datalogger *DeltaT DL2e* (Delta-T Devices, Ltd.).

3.5.3 Determinação do calor sensível do coberto (H_c)

Para resolver a eq.(18) e obter a transpiração E_c das oliveiras, na determinação

do fluxo de calor sensível do coberto H_c (W m^{-2}) utilizou-se a eq.(26) (Lhomme *et al.*, 1988), que expressa o fluxo de calor sensível em função da temperatura radiativa do topo da copa T_c ($^{\circ}\text{C}$) e da temperatura do ar T_a ($^{\circ}\text{C}$), em que ρ_a é a densidade do ar (kg m^{-3}) e C_p ($\text{J kg}^{-1} ^{\circ}\text{C}^{-1}$) é a capacidade térmica mássica do ar a pressão constante, assumida como $C_p = 1013 \text{ J kg}^{-1} ^{\circ}\text{C}^{-1}$:

$$H_c = \rho_a C_p \frac{(T_c - T_a)}{r_a + r_{ac}} \quad (26)$$

Para completar os parâmetros necessários para aplicar a eq.(26) é ainda necessário proceder à determinação da resistência aerodinâmica do coberto r_a (s m^{-1}) e da resistência da camada limite da vegetação r_{ac} (s m^{-1}), que no seu conjunto constituem a resistência total à troca de calor sensível entre a copa do coberto e a atmosfera (Figura 10).

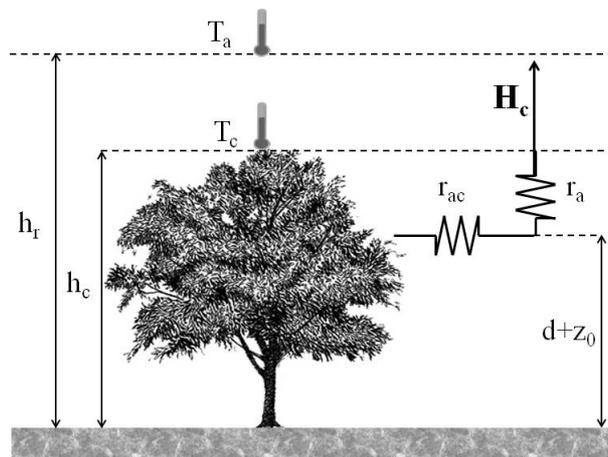


Figura 10- Esquema das resistências à transferência de calor sensível entre o coberto e a atmosfera

A resistência aerodinâmica do coberto r_a (s m^{-1}) corresponde à resistência que a superfície evaporativa do coberto oferece à transferência de calor e vapor de água para o ar acima da copa, descrita através da eq.(27) (Allen *et al.*, 1998), em que a velocidade do vento u_h (m s^{-1}) assume um perfil logarítmico em função da altura sobre o solo h (m)

$$r_a = \frac{\ln \left[\frac{(h-d)}{Z_{oH}} \right] \ln \left[\frac{(h-d)}{Z_{oM}} \right]}{k^2 u_h} \quad (27)$$

O parâmetro k corresponde à constante adimensional de von Kármán ($k = 0.41$); d (m) é a altura do plano de referência; Z_{oH} (s m^{-1}) é o comprimento da rugosidade

aerodinâmica da superfície para a transferência de calor sensível e Z_{oM} ($s\ m^{-1}$) o comprimento da rugosidade aerodinâmica da superfície para a transferência de quantidade de movimento. A altura do plano de referência d (m), corresponde á altura do solo em que a velocidade do vento se anula como resultado dos obstáculos físicos à sua circulação, e que neste contexto corresponde à altura que coincide com a secção mais densa da copa da árvore.

Allen *et al.*, (1998) sugerem para a determinação de r_a , os valores de $d=0.66h$, $Z_{oM}=0.123h$ e $Z_{oH}=0.1 Z_{oM}$, mas Berni, *et al.*, (2009) obtiveram experimentalmente para um olival da variedade *Arbequina* com compasso de 7.0×3.5 m e uma altura média das copas de 5m, e *LAI* de 1.4 os parâmetros: $d=0.732h$ e $Z_{oM} = 0.113h$. Estes últimos valores são semelhantes aos parâmetros de Villalobos *et al.*, (2000), onde se assume para um olival da variedade *Picual*, com compasso 6×6 m, *LAI* de 1.5 e altura da copa 4m, valores de d entre $0.5h$ a $0.75h$ e Z_{oM} entre $0.12h$ e $0.15h$.

Shaw e Pereira (1982), conduziram trabalhos experimentais para avaliar a resposta do perfil logarítmico do vento, em que a rugosidade aerodinâmica Z_{oM} e a altura do plano de referência d foram formuladas em função do *LAI*. Com base no ajustamento de funções matemáticas às séries de dados assim obtidas, Choudhury e Monteith (1988), formularam os parâmetros d e Z_{oM} em função do *LAI* através das equações (28) e (29). Foi este o método utilizado neste trabalho para calcular d e Z_{oM} .

$$d = 1.1 h_c \left(\ln \left(1 + (C_d \text{ LAI})^{1/4} \right) \right) \quad (28)$$

$$Z_{oM} = \begin{cases} z_0 + 0.3h_c (C_d \text{ LAI})^{1/2} & 0 \leq C_d \text{ LAI} \leq 0.2 \\ 0.3h_c (1 - d/h_c) & 0.2 < C_d \text{ LAI} \leq 1.5 \end{cases} \quad (29)$$

Nestas equações, h_c (m) é a altura da copa; C_d é o coeficiente adimensional de atrito foliar, que se assume como sendo uniforme dentro da copa podendo-se considerar para a maioria das culturas como $C_d=0.2$ (Goudriaan, 1977); e z_0 (m) é a rugosidade do solo nu, assumido como $z_0 = 0.01$ m (Xin, *et al.*, 2010). Para a determinação do parâmetro Z_{oH} ($s\ m^{-1}$) considerou-se a relação $Z_{oH} = 3.04 \times 10^{-4} Z_{oM}$, utilizada por Rodrigues (2011) para a vinha em sebe, sendo a melhor aproximação de Z_{oH} encontrada na bibliografia para a distribuição espacial dos olivais em estudo.

A resistência da camada limite da copa r_{ac} ($s\ m^{-1}$), foi estimada com a eq.(30),

apresentada por Choudhury e Monteith (1988), que se baseia no índice de área foliar LAI :

$$r_{ac} = \frac{\alpha_w (w_c / u(h_c))^{1/2}}{4\alpha_0 LAI (1 - \exp(-\alpha_w / 2))} \quad (30)$$

,em que α_w e α_0 são constantes que em unidades SI assumem os valores de $\alpha_w=2.5$ e $\alpha_0=0.005$ (Lhomme *et al.*, 1994); $u(h_c)$ ($m\ s^{-1}$) é a velocidade do vento no topo do coberto; e w_c (m) é a largura média das folhas, assumida para o olival como cerca de 1.5 cm ou seja: $w_c = 0.015m$. O parâmetro α_w é dependente do LAI , podendo considerar-se $\alpha_w=2.5$ para LAI próximos de 1. Neste trabalho e devido à disponibilidade de dados de LAI ao longo do ciclo cultural, optou-se pela formulação mais completa, proposta por Lafleur e Rouse (1990) e expressa na eq.(31):

$$\alpha_w = 2.6LAI^{0.36} \quad (31)$$

3.5.4 Cálculos auxiliares e correções aplicados no modelo bi-camada

Nesta secção descrevem-se algumas correções efetuadas aos parâmetros necessários à implementação do modelo de balanço de energia bi-camada para satisfazer as condições exigidas pelo modelo. Apresentam-se também os cálculos intermédios e as conversões efetuadas.

A densidade do ar ρ_a ($kg\ m^{-3}$), necessária para calcular o calor sensível do coberto H_c através da eq.(26), assume ao nível do mar o valor médio de $\rho_a=1.225kg\ m^{-3}$. No entanto, este parâmetro é função da temperatura do ar T_a ($^{\circ}C$) e da pressão atmosférica P_{at} (kPa), pelo que neste trabalho optou-se por considerar esta dependência através da equação:

$$\rho_a = \frac{P_{at}}{287.5(T_a + 273.16)} \quad (32)$$

A pressão atmosférica P_{at} é um parâmetro que raramente se encontra disponível nas estações meteorológicas utilizadas para aplicações agrícolas, como a que está disponível no olival AC, mas o seu valor médio foi estimado em função da cota do local z (m) através da equação:

$$P_{at} = 101.3 \left(\frac{293 - 0.0065z}{293} \right)^{5.26} \quad (33)$$

A resistência aerodinâmica do coberto r_a , descrita pela eq.(27), tem como domínio válido de entrada nas funções logarítmicas do numerador uma gama de valores $(h-d) > 0$. Esta condição matemática apresenta problemas práticos na sua aplicação, porque enquanto a altura da copa definida como h_c pode ser muito variável, a altura assumida como padrão para a medição das variáveis meteorológicas corresponde geralmente a 2m. Este facto possibilita que para culturas como o olival, que têm copas com mais de 2m de altura, o valor de altura do plano de referência d possa assumir valores superiores a h , invalidando assim o domínio de cálculo de r_a . Para contornar esta limitação de aplicação da eq.(27), converteram-se os valores de velocidade do vento obtidos a 2m para uma altura superior à copa nos olivais estudados ($h=10m$), utilizando a eq.(34) descrita por Allen *et al.* (1998):

$$u_z = \frac{u_2}{4.87 / \ln(67.8h - 5.42)} \quad (34)$$

Assumindo a equivalência entre a transpiração T do coberto e a componente do balanço de energia E_c que resulta do fluxo calor latente (vaporização a partir do coberto) resultante da eq.(18), o modelo devolve valores horários de T em (mm h^{-1}) cuja soma diária resulta em T (mm d^{-1}) . Para compatibilizar as unidades de transpiração obtidas com o balanço de energia com as da transpiração obtidas pelo fluxo de seiva (L d^{-1}) , procedeu-se à multiplicação do E_c (mm d^{-1}) pela área do compasso (m^2) .

3.6 Determinação da temperatura da copa através de radiometria de

infravermelhos

De acordo com os princípios básicos da termodinâmica, todos os corpos com temperatura acima do zero absoluto emitem radiação na banda espectral dos infravermelhos (comprimento de onda de 9-14 μm). Esta propriedade física permite que, através de radiómetros de infravermelhos e sem contacto físico, se proceda ao registo da temperatura de um objeto colocado no seu campo de visão a partir da

radiação térmica que este emite no espectro infravermelho.

Neste trabalho, as temperaturas da copa foram medidas com radiômetros de infravermelhos (IV) (Apogee Instruments Inc., UT, EUA, modelo SI-111) com uma resolução térmica de 0.2°C e ângulo focal de 22 graus. Os radiômetros IV foram fixos num poste metálico e colocados cerca de 50cm acima do centro da copa de uma árvore, selecionada como representativa do conjunto, e com um ângulo de inclinação de 45°. A distância de 50cm acima da copa foi definida com o objetivo de colocar sensor a captar no seu campo de visão apenas a copa, e simultaneamente, focando uma área significativa que devolva uma temperatura radiativa representativa da mesma. Como o radiômetro utilizado apenas devolve um valor de temperatura média resultante da área focada no campo de visão, para que os resultados de monitorização da temperatura através dos radiômetros sejam representativos é necessário que as copas das oliveiras quando vistas pelo radiômetro, apresentem uma espessura e densidade foliar suficiente para que a temperatura obtida pelo sensor se reporte apenas à copa, evitando que o sensor capte de forma significativa o solo no seu campo de visão.

O registo das leituras dos radiômetros foi efetuado em intervalos de 1 hora através de um *datalogger Campbell CR10X*.



Figura 11- Radiômetro de infravermelhos Apogee Instruments, Inc. , UT,EUA mod. SI-111 instalado num poste sobre a copa.

É importante ainda referir que a medição da temperatura da copa através de radiômetros apresenta algumas limitações de precisão, podendo subestimar ou sobrestimar a temperatura do coberto dependendo sobretudo das condições de estabilidade atmosférica.

3.7 Medição da radiação fotossintética ativa (*PAR*) e do índice de área foliar

(*LAI*)

Já se referiu anteriormente que o *LAI* é um parâmetro-chave no desenvolvimento do modelo bi-camada utilizado neste trabalho (equações. 19, 25, 28, 29 e 31). O índice de área foliar (*LAI*) é definido como a relação entre a área foliar total da copa que participa no processo de transpiração e a área ocupada pela cultura. O *LAI* é também um parâmetro que traduz a eficiência da cultura na intercepção da radiação solar, facto que é crucial para a transpiração e fotossíntese. O *LAI* está assim diretamente relacionado com o processo de transpiração cultural em que a área foliar constitui a interface de transferência de água entre cultura e a atmosfera, mas é variável, assumindo valores diferentes ao longo do ciclo cultural, com o seu máximo normalmente no período da floração (Allen *et al.*, 1998).

Como já se referiu, objetivo principal da determinação do *LAI* no âmbito deste trabalho é fornecer dados para o balanço de energia do coberto. Atendendo que é necessário estimar o *LAI* regularmente ao longo do ciclo cultural, e à impossibilidade de utilizar métodos diretos (destrutivos) de forma sistemática, estabeleceu-se um método indireto baseado em sensores *PAR* configurados em registo automático que permitissem uma estimativa contínua do *LAI* com uma precisão aceitável.

O *LAI* foi estimado nas modalidades de rega R1 de cada olival, com um conjunto de 8 sensores de radiação fotossintética ativa (*PAR*) modelo *Tranzflo Quantum QPAR-02* da *Tranzflo NZ Ltd.*, Palmerston North, New Zealand (Figura 12). Os dados dos sensores *PAR* foram lidos em intervalos de 10 min com registo das médias a cada 30min usando um *datalogger DeltaT DL2e* (Delta-T Devices Ltd). Este arranjo experimental dos *PAR* foi efetuado em ambos os olivais (OS e AC), selecionando uma árvore representativa do olival, e colocando os sensores em posições fixas na área de compasso da árvore, de acordo com a Figura 13.



Figura 12- Sensor PAR modelo Tranzflo Quantum QPAR-02.

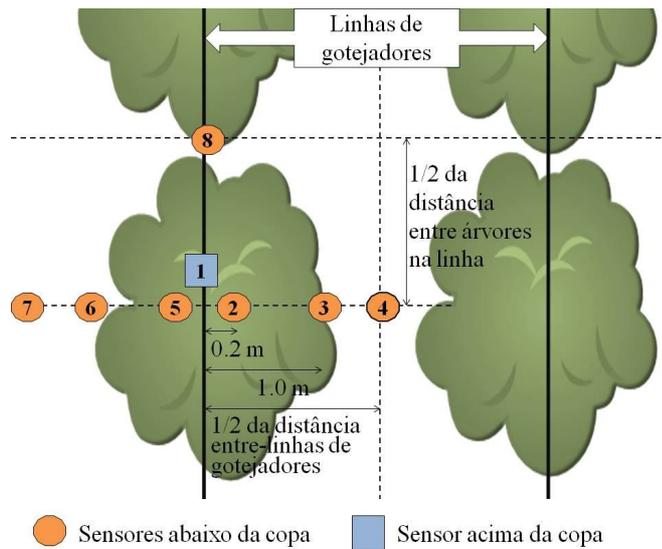


Figura 13- Esquema da disposição dos sensores PAR fixos nas árvores monitorizadas.

A disposição espacial dos sensores foi definida de modo a caracterizar a *PAR* na totalidade da área de compasso (incluindo a área coberta pela copa), com 7 sensores fixos num suporte a 10cm do solo e dispostos na linha e na entrelinha. Adicionalmente foi colocado um oitavo sensor *PAR* acima da copa instalado em posição vertical num poste com o objetivo de registar a *PAR* total incidente sem interferências provocadas pelo ensombramento da copa.

A determinação do *LAI* foi feita com a metodologia proposta por Monsi e Saeki (1953), em que a radiação que atravessa a copa I_b ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) é atenuada exponencialmente em função do índice de área foliar (*LAI*) relativamente à radiação incidente no topo na copa I_0 ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$):

$$I_b = I_0 \cdot \exp(-k_e \cdot \text{LAI}) \quad (35)$$

A eq.(35), que constitui a base desta metodologia tem uma expressão análoga à lei da ótica de Beer, também conhecida como lei de Beer-Lambert, que na sua formulação original relaciona a absorção de luz com as propriedades do material atravessado. O coeficiente de extinção k_e descreve o ângulo médio das folhas relativamente ao sol. Varia entre 0 (vertical relativamente ao sol) e 1 (perpendicular relativamente ao sol) e é dependente da espécie de planta. O coeficiente de extinção k_e é determinado experimentalmente para cada cultura, em função da inclinação das folhas e da sua disposição relativa. Neste trabalho, considerou-se 0.6 para o k_e , assumindo o valor

determinado para o olival por Zarco-Tejada *et al.* (2004).

A eq.(35) reescrita de forma a estimar o *LAI* em função dos parâmetros I_b , I_0 e k_e , resulta na eq.(36):

$$LAI = \frac{-\ln(I_b/I_0)}{k_e} \quad (36)$$

Os parâmetros I_0 e I_b são redefinidos com base nas leituras dos sensores *PAR*, em que I_0 é a radiação *PAR* incidente acima da copa (sensor 1) e I_b é a média das radiações *PAR* registadas pelos sensores colocados no solo e distribuídos pela área do compasso (sensores 2 a 8). O parâmetro I_0 depende da radiação incidente no topo da copa, não sendo afetado pelo ensombramento, contudo a distribuição do parâmetro I_b vai variando ao longo do dia de acordo com a área de ensombramento da copa sobre o solo, resultante da posição relativa do sol no horizonte. O procedimento experimental utilizado para determinar o *LAI* neste trabalho utilizou apenas os valores *PAR* registados ao meio-dia solar, o que, atendendo às coordenadas geográficas dos locais de estudo corresponde aproximadamente às 12h30m GMT. A opção de considerar apenas as leituras ao meio-dia solar é adequada neste contexto, pois assim garante-se que a projeção da copa assume uma geometria semelhante de ensombramento entre leituras diárias (Awal *et al.*, 2005), minimizando o erro resultante da variação do ângulo de incidência do sol ao longo do dia. Este procedimento permite manter fixo o coeficiente de extinção k_e , que como já se referiu, depende do ângulo relativo das folhas em relação à radiação incidente.

O conjunto dos sensores *PAR* fixos permite estimar o *LAI* diariamente, no entanto considerou-se mais adequado resumir o *LAI* a uma média mensal de modo a atenuar eventuais erros de leitura diária que podem resultar pontualmente devido a perturbações no campo de visão dos sensores causados por movimentações de pessoas ou máquinas.

Adicionalmente, com o objetivo de aferir os resultados dos sensores *PAR* instalados de forma permanente no terreno, em ambos os olivais, o *LAI* foi medido pontualmente ao meio-dia solar e em dias sem nebulosidade, através de um ceptómetro portátil *AccuPar PAR/LAI ceptometer model LP-80*, (Decagon Devices, Inc). O ceptómetro *LP-80* utilizado consiste numa haste de cerca de 80cm com um total 80 sensores *PAR* com 1cm² de superfície unitária, colocados em linha, o que permite através de um datalogger acoplado, registar 8 valores de *PAR* ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) por leitura

resultantes da média de cada grupo de 10 sensores consecutivos.

As medições através do ceptómetro portátil foram efetuadas em cada parcela, selecionando um conjunto de árvores representativas, e seguindo desde a base do tronco as duas direções do compasso definidas pela linha dos gotejadores e entre as linhas de árvores, com uma distância entre medições de 20cm de forma a cobrir a totalidade da área definida pelo compasso. O ceptómetro portátil foi utilizado para determinar o *LAI* seguindo a mesma metodologia dos sensores *PAR* fixos no compasso, ou seja, o I_0 foi obtido fazendo uma leitura fora da zona de ensombreamento da copa (na entrelinha do compasso), e o I_b resulta da média das leituras sucessivas cobrindo a totalidade da área do compasso. As leituras foram repetidas em várias árvores de modo a obter uma boa representatividade do *LAI* relativamente à população de árvores do olival.

As leituras *PAR* assim obtidas através do ceptómetro portátil permitem uma resolução espacial bastante mais detalhada (intervalos de 20 cm) ao longo do compasso do que as leituras automáticas com os sensores *PAR* fixos no terreno. A possibilidade de medir várias árvores em vez de uma, permite também resultados mais seguros que podem ser utilizados para verificar os resultados dos sensores *PAR* fixos.

3.8 Metodologia de análise de correlação dos métodos utilizados para avaliar da transpiração

A análise de correlação entre os resultados de transpiração obtidos pela medição do fluxo de seiva e pelo modelo de balanço de energia bi-camada foi efetuada com os valores obtidos pela medição do fluxo de seiva (T_{FS}), e com os resultados obtidos pelo modelo de balanço de energia (T_{BE}). Ambos os valores de transpiração cultural estão expressos em (L/árv/dia), pelo que foi esta igualmente a unidade de referência tida em conta na análise de correlação.

Para além do coeficiente de determinação (R^2), optou-se por incluir na análise critérios estatísticos adicionais para determinar a qualidade dos resultados de transpiração estimados pelo modelo de balanço de energia face aos do fluxo de seiva. Os critérios adicionais utilizados na análise de n pares de valores de T_{BE} e T_{FS} , foram os seguintes: *MBE* (*mean bias error*) ou erro médio, *MAE* (*mean absolute error*) ou média dos erros absolutos e *RMSE* (*root mean square error*) ou erro padrão de estimativa,

cujas definições se descrevem abaixo:

O *MBE* ou erro médio representa a média das diferenças entre os valores de transpiração prevista pelo modelo de balanço de energia (T_{BE}) e os valores observados através da medição do fluxo de seiva (T_{FS}). O *MBE* indica o quanto o modelo de balanço de energia subestima (valor negativo) ou sobrestima (valor positivo) a transpiração relativamente ao valor observado (T_{FS}). Neste contexto, o *MBE* ideal na comparação dos dois modelos corresponde a um valor nulo.

$$MBE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (T_{BEi} - T_{FSi}) \quad (37)$$

A média dos erros absolutos ou *MAE* é semelhante ao *MBE*, descrevendo o grau de proximidade entre os valores previstos (T_{BE}) e os valores observados (T_{FS}). É, no entanto, uma medida mais robusta que o *MBE*, por ser menos afetado por valores extremos e não permitir o cancelamento mútuo de valores positivos e negativos no somatório.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |T_{BEi} - T_{FSi}| \quad (38)$$

O *RMSE* ou erro padrão de estimativa é uma medida do erro médio que permite inferir a magnitude do erro dos valores estimados face aos observados. A gama de valores devolvidos pelo *RMSE* situa-se entre 0 e 1, correspondendo 0 um ajustamento perfeito.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (T_{BEi} - T_{FSi})^2} \quad (39)$$

O parâmetro *RMSE* pode ainda ser expandido para descrever o erro de natureza sistemática ($RMSE_s$) e não sistemática ($RMSE_u$) através das equações (40) e (41), tendo em conta a equação da reta genérica dos mínimos quadrados ($FT_{BE} = a + b T_{FS}$) que resulta dos pontos (T_{BE}) e (T_{FS}). Um bom ajustamento ocorre quando $RMSE_s$ se aproxima de zero e o $RMSE_u$ se aproxima do valor de *RMSE*.

$$RMSE_s = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (FT_{BEi} - T_{FSi})^2} \quad (40)$$

$$RMSE_u = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (T_{BEi} - FT_{BEi})^2} \quad (41)$$

O parâmetro $RMSE_u$ avalia a discrepância entre o valor estimado e observado que é explicada por fatores ou influências de carácter aleatório ou com origem fora do domínio do modelo. Atendendo às componentes sistemática e não sistemática de $RMSE$, este pode também ser expresso como:

$$RMSE^2 = RMSE_u^2 + RMSE_s^2 \quad (42)$$

4. Resultados e discussão

Nas secções seguintes apresentam-se os resultados experimentais obtidos com a medição da transpiração pelo fluxo de seiva e a análise da sua evolução tendo em conta as modalidades de rega adotadas e a solicitação atmosférica, com esta última expressa pela evapotranspiração de referência ET_0 . Adicionalmente descrevem-se os resultados de transpiração estimada pelo balanço de energia do coberto, através do modelo bicamada já definido, avaliando a correlação dos resultados estimados pelo modelo com a transpiração medida com o fluxo de seiva.

As discontinuidades presentes em alguns períodos nos gráficos apresentados nas secções seguintes devem-se a falhas técnicas pontuais no registo de alguns parâmetros meteorológicos, bem como na medição do fluxo de seiva.

4.1 Evolução dos olivais estudados e do clima durante o período de análise

Atendendo ao longo período em que se procedeu à monitorização da transpiração, importa descrever a evolução das condições climáticas ao longo do período estudado para contextualizar o seu impacto nos olivais estudados.

Os anos de 2011 e 2012 apresentaram diferenças significativas no seu regime climático, com o ano de 2012 a ser significativamente mais seco e quente do que o de 2011. A precipitação anual acumulada registada durante o ano 2011 foi de 507 mm e de apenas 329 mm em 2012, o que mostra a elevada irregularidade e variabilidade inter-anual da precipitação nesta região. As temperaturas do ar no período em estudo atingiram um máximo de 39°C em 2011 e 42°C em 2012, verificando-se em 2012 a partir de Maio, uma maior frequência de dias com temperaturas diárias acima de 30°C. A evapotranspiração potencial, ET_0 (mm) estimada pelo método FAO-56 (Allen, *et al.*, 1998), registou nos mesmos anos, valores anuais acumulados de respetivamente 1086 mm e 1100 mm.

A Figura 14 descreve a distribuição da precipitação P (mm/dia), radiação solar média diária ($W m^{-2}$), evapotranspiração de referência ET_0 (mm/dia) e a temperatura mínima, média, e máxima do ar (°C), registadas pela estação meteorológica automática situada na herdade do Álamo de Cima ao longo dos anos de 2011 e 2012.

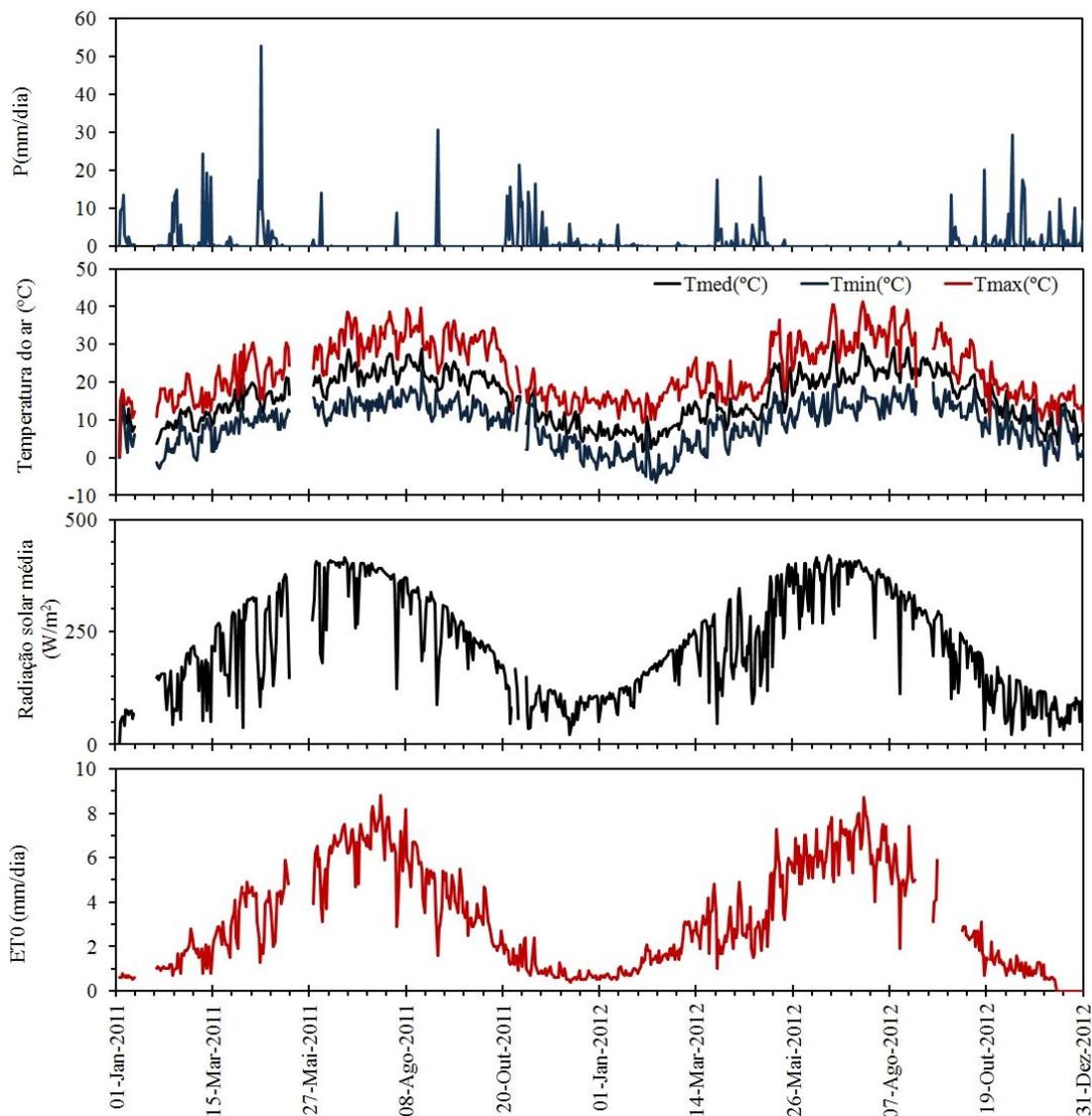


Figura 14- Evolução dos principais parâmetros agrometeorológicos registados entre 2011 e 2012 na pela estação meteorológica situada na herdade do Álamo de Cima

Pode-se considerar o ano de 2011 como um ano médio, representativo das condições climáticas normais da região, com uma precipitação distribuída principalmente no Inverno e Primavera e um Verão seco, registando ainda alguma precipitação no início de Setembro a favorecer os olivais no período de enchimento do fruto. O ano de 2012 caracterizou-se por uma ausência de precipitação significativa entre meados de Maio a Outubro, aumentando a dependência do olival relativamente à rega. Adicionalmente, no início do ano de 2012 os impactos da seca e a ocorrência de geadas na região causaram impactos diretos nos olivais, tendo-se verificado uma perda muito significativa de área foliar nas copas em ambos os olivais estudados, embora com

mais intensidade no olival OS. Como se pode verificar no mapa de rega (Anexo 2), as características climáticas verificadas em 2012 levaram à decisão por parte da entidade exploradora do olival OS de iniciar a rega cerca de um mês mais cedo que em 2011.

Desta forma, verifica-se que o período de análise englobou do ponto de vista climático, um ano de 2011 médio e um ano 2012 bastante desfavorável do ponto de vista agrícola e suscetível de aumentar a dependência dos olivais relativamente à rega para manter o regime de transpiração potencial da cultura.

Para além dos parâmetros já descritos associados aos fatores climáticos, é relevante referir o défice de pressão de vapor, *DPV*, pela sua importância no processo de controlo estomático da oliveira. Em situações de *DPV* elevado, a oliveira fecha parcialmente os estomas limitando a sua taxa de transpiração. Como foi referido anteriormente na secção 2.2, o controlo estomático é um dos principais mecanismos de controlo da taxa de transpiração da oliveira. No conjunto dos anos 2011 e 2012 encontrou-se uma relação entre o *DPV* e a ET_0 com um R^2 de 0.59. No entanto, optou-se nas secções seguintes por estabelecer a ET_0 (FAO-Penman Monteith) como referência para descrever a evolução do poder evapotranspirativo do ar, já que a ET_0 , além de incluir na sua formulação o *DPV*, também contém outros parâmetros como a velocidade do vento e a radiação solar, constituindo por isso um parâmetro de referência mais completo da solicitação evaporativa da atmosfera.

4.2 Distribuição da radiação *PAR* abaixo da copa e resultados do *LAI*

O principal método utilizado neste trabalho para estimar o índice de área foliar nos olivais estudados ao longo dos anos 2011 e 2012 baseou-se na medição simultânea da radiação fotossintética ativa no topo da copa e debaixo da copa, recorrendo a sensores *PAR* fixos. Importa assim interpretar e avaliar a capacidade deste método para registar a radiação *PAR* que atravessa a copa ao longo do tempo. No topo das copas, os valores de *PAR* registados ao meio-dia solar situaram-se perto de $2000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, valor que corresponde à ausência de coberto ou de interceção de radiação pela copa.

A Figura 15 ilustra para cada olival estudado os perfis transversais da radiação *PAR* média registada pelos sensores *PAR* fixos nos meses de Junho e Outubro de 2011 e Abril de 2012. Estes meses foram selecionados para exemplificar os resultados de

radiação *PAR* que atravessa a copa em diferentes momentos do ciclo cultural, em que as copas das oliveiras apresentavam densidades foliares diferentes.

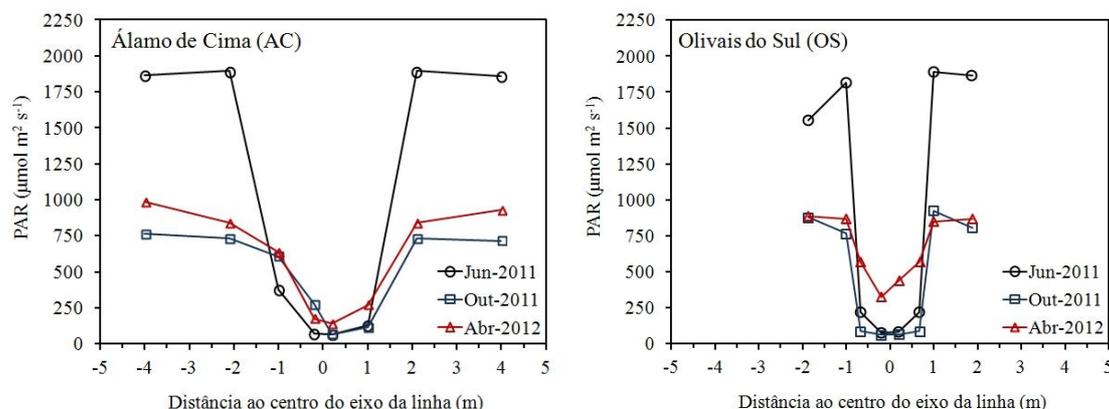


Figura 15 – Perfis transversais de *PAR* ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) médias obtidas através dos sensores fixos no solo ao meio dia solar em vários meses do período de monitorização em que o índice de área foliar variou de forma significativa

Como se observa na Figura 15, a radiação *PAR* que chega ao solo no compasso do olival foi variando ao longo do ciclo cultural, verificando-se que o mês de Junho 2011 coincide sensivelmente com o momento do ciclo cultural em que as copas de ambos os olivais apresentaram a maior densidade foliar, traduzindo-se numa maior interceção de radiação *PAR* ao longo do perfil transversal do compasso. Neste período, observou-se ainda uma elevada homogeneidade na densidade da copa evidenciada pelos baixos valores de *PAR* que chegou aos sensores colocados no solo até à distância definida pelo diâmetro da copa.

No fim do ciclo cultural (Outubro de 2011), e já no período próximo da colheita, a capacidade de interceção da radiação *PAR* da copa diminuiu de forma considerável na área coberta, registando uma diminuição progressiva do centro para a periferia do eixo da cultura.

Verificou-se em Abril de 2012, que a radiação *PAR* intercetada pelas copas em ambos os olivais registou os valores mais baixos do período monitorizado. Esta situação é coerente com as observações efetuadas no terreno, confirmando o impacto da ocorrência de geada no início do ano 2012, que resultou numa acentuada perda de folhas nas árvores. O olival OS foi mais afetado que o olival AC, verificando-se que neste período, a copa registou uma baixa interceção da radiação, em que inclusivamente no centro da copa existiu uma considerável passagem de radiação até ao solo.

Atendendo aos fatores descritos, os resultados de *PAR* obtidos e a sua evolução

temporal apresentaram resultados coerentes com as densidades foliares observadas no terreno e com a evolução esperada da cultura ao longo do ciclo cultural.

Importa referir, que embora as determinações *PAR* tenham sido efetuadas sempre ao meio-dia solar, o ângulo de incidência dos raios solares (ângulo zenital) também variou ao longo dos meses influenciando o valor máximo de *PAR* lido pelos sensores, sendo notório que nos meses de Abril e Outubro os valores máximos de *PAR* medidos abaixo da copa foram bastante mais baixos que em Junho. Este efeito não é, no entanto suscetível de afetar de forma significativa a estimativa do *LAI*, dado que como todos os sensores *PAR* foram instalados em posição vertical, a proporcionalidade entre os valores obtidos acima da copa e debaixo da copa foi mantida.

A Figura 16 apresenta o resumo mensal dos resultados estimados do *LAI* em função da área do compasso em cada olival, e pontualmente em Julho de 2012, com o ceptómetro portátil. Os sensores *PAR* foram temporariamente desativados e removidos dos olivais antes da colheita de 2011, pelo que não foi possível estimar o *LAI* durante o Inverno de 2011-2012.

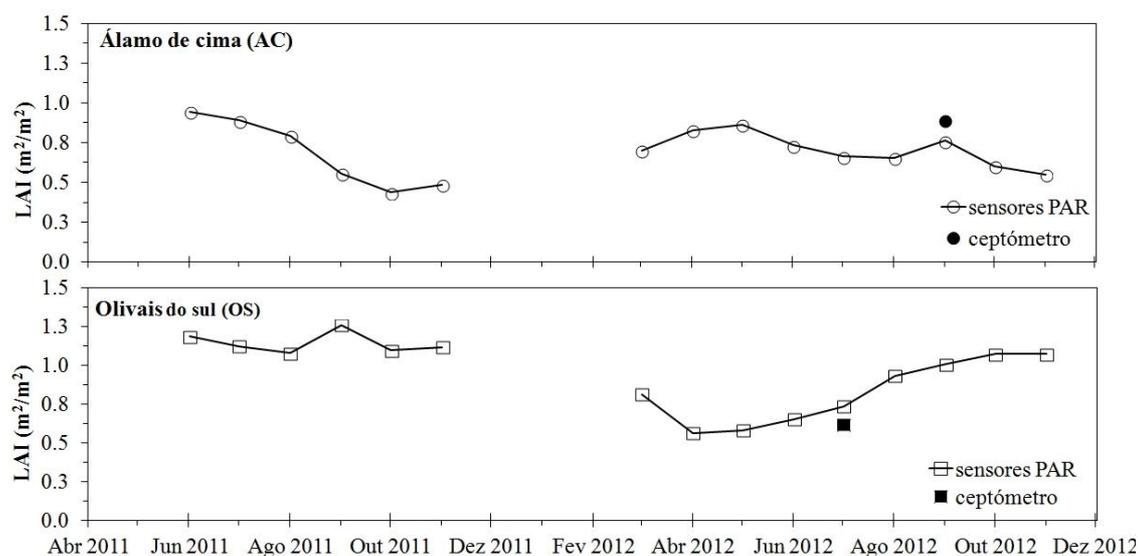


Figura 16- Resultados médios mensais do índice de área foliar, LAI (m^2/m^2), obtidos nos olivais em estudo ao longo do período analisado (2011-2012)

O índice de área foliar estimado em função da área do compasso para o olival AC registou valores entre 0.44 em Outubro de 2011 e 0.94 em junho de 2011, verificando-se nos dois ciclos culturais analisados, que os valores máximos de *LAI* foram atingidos no fim da Primavera.

O olival OS, superintensivo, registou em 2011 valores de *LAI* estimados

superiores aos do olival AC devido ao menor espaçamento da cultura, da qual resulta uma maior fração coberta. Os valores de *LAI* variaram em 2011 entre 1.08 e 1.26 mantendo uma notável estabilidade ao longo do ciclo cultural. Em 2012, devido às já citadas condições climáticas desfavoráveis que conduziram à perda de folhas nas copas, o índice de área foliar estimado no olival OS teve um comportamento atípico, traduzindo-se num decréscimo muito significativo no início do ano, que atingiu um mínimo de 0.56 no mês de Abril. Ao longo de 2012 o olival OS manteve durante todo o ciclo cultural uma recuperação lenta, embora com um aumento estável do *LAI*, atingindo um valor máximo de 1.07 no mês de Outubro.

O ceptómetro portátil *Decagon* LP-80 utilizado como método alternativo para estimar o *LAI* só ficou disponível em meados de 2012, pelo que apenas foi possível efetuar uma determinação de campo em cada olival com este equipamento. O ceptómetro possibilitou uma amostragem dos *PAR* com muito mais resolução ao longo do compasso da cultura, tendo-se adotado um espaçamento de amostragem de 0.20 m. Desta forma, foi possível obter estimativas de *LAI* potencialmente mais precisas. A comparação do *LAI* obtido através do ceptómetro e dos sensores *PAR* indicaram contudo valores bastante aproximados para ambos os olivais. A pequena diferença verificada permite assumir que os sensores *PAR* fixos no terreno e utilizados em registo automático caracterizaram de forma fiável a interceção da radiação pelo coberto, podendo assim ser utilizados com alguma segurança como base de informação para estimar os índices de área foliar nos olivais ao longo do ciclo cultural.

4.3 Resultados de transpiração obtidos através da medição do fluxo de seiva

As modalidades de rega R1 (normal) e rega R2 (modificada) foram, quanto às dotações, substancialmente diferentes em 2011 e 2012, pelo que a análise do fluxo de seiva será realizada de forma independente para cada ano, para avaliar melhor a influência da rega na taxa de transpiração medida nas árvores monitorizadas em cada modalidade. Os resultados completos da transpiração diária medida através do fluxo de seiva estão listados nos Anexos 5 e 6.

4.3.1 Evolução das frações de água e madeira nos troncos das oliveiras

Na zona de condução de seiva do tronco (xilema ou *sapwood*), dá-se uma parte importante da regulação do sistema de gradientes de potencial hídrico que se estabelece entre o solo, a cultura e a atmosfera face ao estado de conforto hídrico da cultura e à solicitação atmosférica.

As frações de madeira (F_M) e de água (F_L) nos troncos são um importante parâmetro para o cálculo do fluxo de seiva, podendo também constituir-se como um indicador do estado de hidratação do tronco, já que estes dois parâmetros são suscetíveis de variar no tempo em função da disponibilidade de água no solo e da taxa de transpiração. De um modo geral, um tronco bem hidratado ou com uma elevada F_L constitui um melhor condutor de seiva por favorecer a continuidade hidráulica no sistema. No entanto, quando a solicitação atmosférica é muito elevada, especialmente nos meses de Verão, a perda de água que se dá por transpiração pode ser pontualmente mais alta que a taxa de reposição de água a partir do solo, mesmo em condições de conforto hídrico, levando a uma diminuição temporária da F_L que não traduz necessariamente um défice. Um F_L baixo significará que é estabelecido um maior gradiente hidráulico entre a cultura e solo, ou seja existirá uma maior energia disponível na extração de água da cultura a partir do solo.

A amostragem de F_L e F_M foi efetuada com uma periodicidade sensivelmente mensal tendo-se verificado um padrão reconhecível na evolução destes parâmetros ao longo do ciclo cultural, embora com resultados significativamente diferentes entre o olival OS, representado na Figura 17, e o olival AC, na Figura 18.

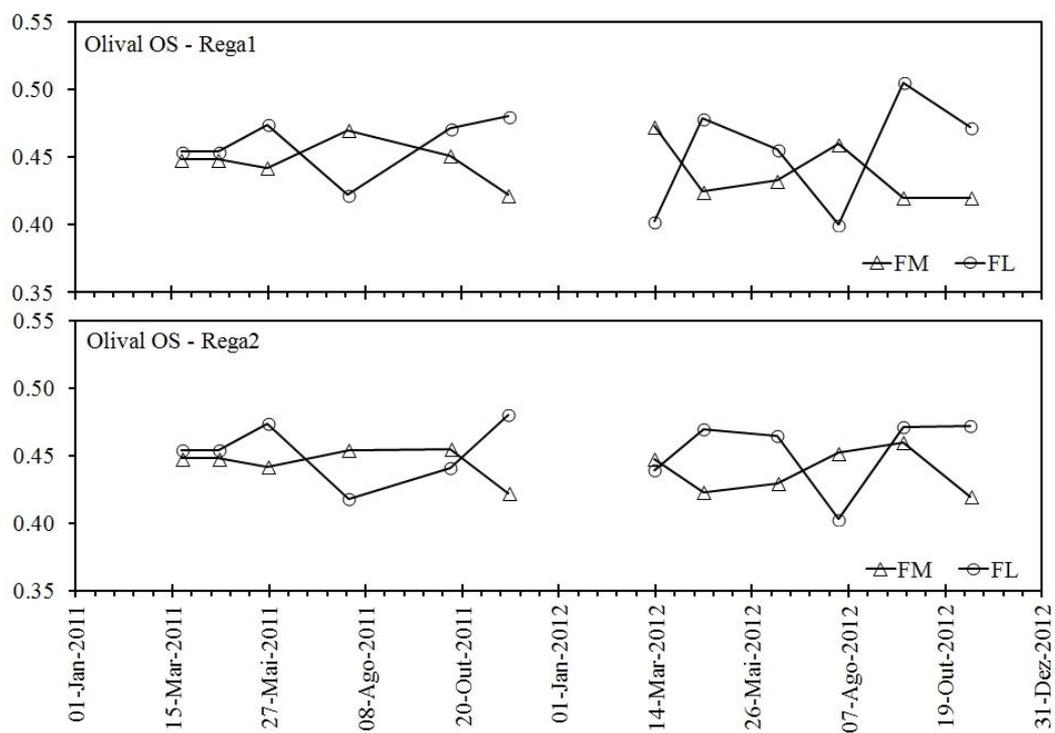


Figura 17- Resultados da amostragem das frações de madeira (F_M) e água (F_L) dos troncos das árvores do olival OS.

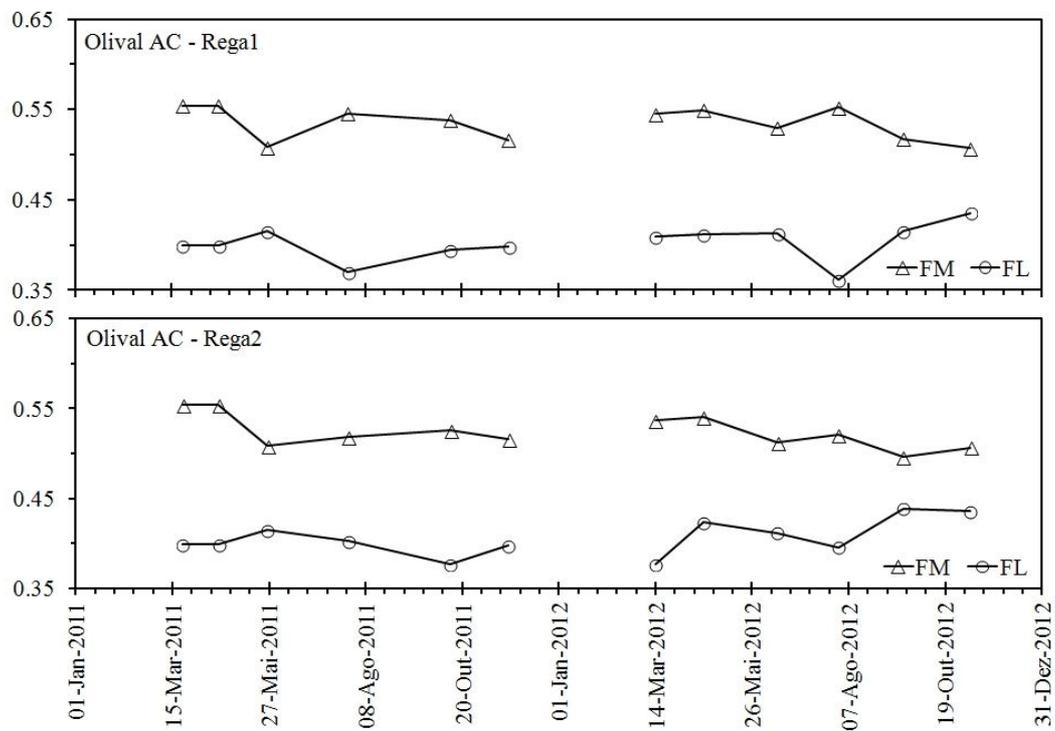


Figura 18- Resultados da amostragem das frações de madeira (F_M) e água (F_L) dos troncos das árvores do olival AC.

Nas árvores do olival OS (Figura 17), verificou-se que nos dois anos e nas duas modalidades de rega, os valores de F_L e F_M foram semelhantes no início da Primavera, existindo dois momentos no ciclo cultural em que a fração líquida F_L foi maior que a F_M : no fim da Primavera e no fim do ciclo cultural, na fase de enchimento do fruto. No período de maior solicitação evapotranspirativa, a fração líquida F_L desceu abaixo da fração de madeira F_M , o que indica o estabelecimento de um gradiente hidráulico mais elevado entre solo e cultura que proporcionou uma maximização da extração de água do solo para repor a água perdida por transpiração.

Relativamente às duas modalidades de rega no olival OS, as frações F_M e F_L em 2011 descreveram uma evolução semelhante mantendo-se ambas entre valores de 0.41 e 0.48, mas em 2012 devido às maiores diferenças impostas nas dotações das modalidades de rega R1 e R2, é visível que na rega R1 os troncos mantiveram-se com uma maior fração líquida que atingiu 0.50 em Setembro e, simultaneamente, uma menor fração de madeira relativamente à modalidade de rega com dotação mais baixa (rega R2).

No olival AC (Figura 18), as frações F_M foram significativamente maiores que no olival OS, mantendo-se superiores a 50% ($F_M > 0.50$) e sempre acima da F_L , ou seja o conteúdo em água nos troncos foi sempre mais baixo que o conteúdo em madeira seca. Esta situação deveu-se ao facto de as árvores de olival AC serem mais velhas e possuírem um *sapwood* com uma estrutura significativamente diferente das árvores mais jovens do olival OS, que apresentaram maior capacidade de retenção de água nos tecidos do *sapwood*. A resposta das frações F_M e F_L às diferentes modalidades de rega não foi tão evidente no olival AC como no olival OS, no entanto, verificou-se durante o período de rega que na rega R2 do olival AC (com maior dotação) a fração F_L manteve-se acima da registada na rega R1. Em ambas as regas, o olival AC apresentou menos variações de F_L , o que leva a assumir que existiu uma situação de conforto hídrico sustentada ao longo do ciclo cultural e que a taxa de transpiração das oliveiras foi mantida sem um incremento significativo do gradiente hidráulico no tronco, ou seja, sem gerar maior capacidade de extração de água do solo por via da diminuição do F_L .

4.4 Resposta do fluxo de seiva à rega e à solicitação atmosférica

4.4.1 Resultados do fluxo de seiva no olival AC

A Figura 19 representa os resultados de fluxo de seiva médio diários medidos em 2011 no olival AC em duas sub-parcelas às quais se aplicaram os dois regimes de rega já definidos anteriormente: R1 (rega normal) e R2 (rega modificada).

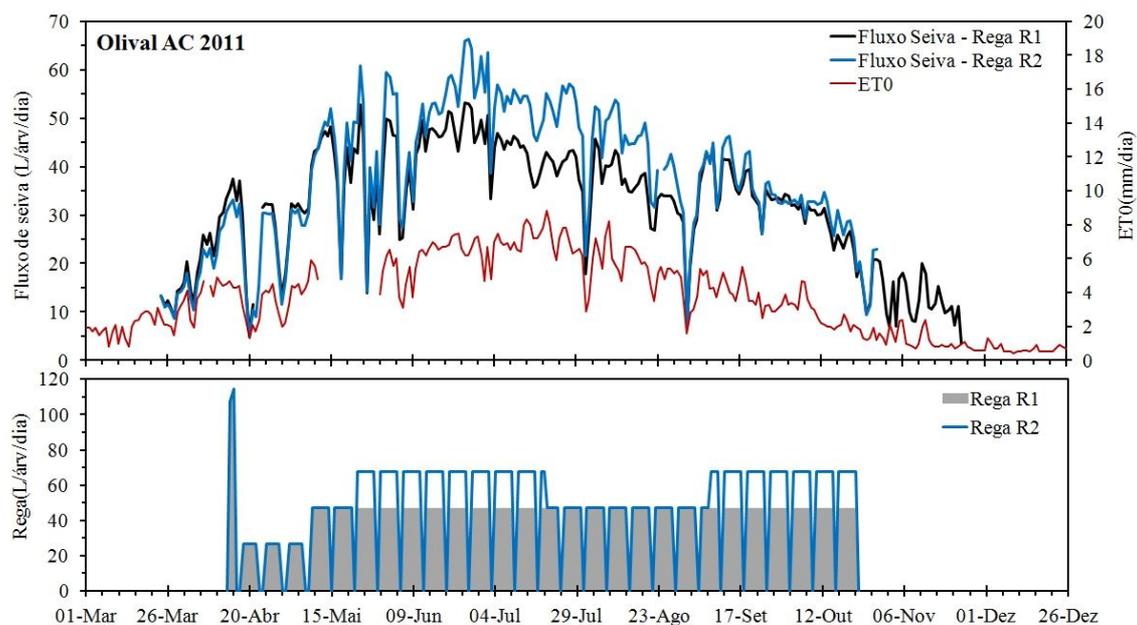


Figura 19- Evolução do fluxo de seiva no Olival AC, dotações de rega em cada modalidade e evapotranspiração de referência registados em 2011

A rega R1 correspondeu à rega normalmente aplicada pela entidade gestora do olival através de gotejadores de 1.6 L h^{-1} espaçados 1m ao longo da linha. A rega R2 assumiu o mesmo tempo de rega e espaçamento de gotejadores, mas a dotação de rega foi alterada no período de 23 Maio a 19 Julho e no período de enchimento do fruto entre 8 Setembro e 31 Outubro, através da instalação de uma linha de rega com gotejadores com débito de 2.3 L h^{-1} .

No final da campanha de rega, a rega R1 acumulou 7399 L/árv e a rega R2 acumulou uma dotação cerca de 20% superior (9230 L/árv). No início do período de monitorização a dotação de rega foi igual em ambas as parcelas, verificando-se uma sobreposição das curvas de fluxo de seiva, que foram descrevendo um regime de transpiração idêntico, mas que foi assumindo valores crescentes em resposta ao aumento da solicitação evaporativa da atmosfera que aqui foi representada pela

evapotranspiração potencial ET_0 .

O primeiro período de rega em que se impôs o regime diferenciado de rega (23 Maio a 19 Julho) gerou uma diferença nas taxas de transpiração das respetivas sub-parcelas, verificando-se que a sub-parcela com rega mais elevada (R2), ajustou a sua taxa média de transpiração para 50.4 L/árv/dia, ou seja valores cerca de 15% superiores aos da sub-parcela com rega R1, que registou uma taxa média de transpiração de 42.9 L/árv/dia. Este facto permite assumir que a água adicional aplicada pela rega R2 permitiu à cultura aumentar a sua transpiração, sendo razoável admitir que a dotação de rega ideal para atingir a transpiração potencial máxima da cultura se situava acima das dotações aplicadas na rega R1. Por outro lado, a taxa de transpiração diária máxima registada na rega R2 em 2011 (66.4 L/árv/dia a 26 junho) não coincidiu com o momento em que ocorreu o valor máximo da ET_0 (8.8 mm/dia a 20 Julho), indicando que no período de Julho e Agosto a taxa de transpiração poderá ter sido limitada pela água que foi disponibilizada à cultura.

Entre 20 de Julho e 7 de Setembro as dotações das regas R1 e R2 foram igualadas através da colocação de linhas de gotejadores idênticas, no entanto, a sub-parcela com rega R2 continuou a manter uma taxa de transpiração superior á da parcela de rega R1. Esta situação é coerente com o que foi descrito acima, dado que os 5% de diferença entre a água adicional aplicada (20%) e o aumento da taxa de transpiração (15%) terá resultado num incremento do armazenamento de água no solo, permitindo que a cultura mantivesse ainda uma taxa de transpiração elevada durante este período em virtude da disponibilidade de água adicional criada anteriormente.

Na parte final do ciclo cultural, no início de Setembro, o regime diferenciado de rega foi repostado mas não gerou diferenças nas taxas de transpiração de cada sub-parcela, indicando que a dotação adicional da rega R2 já não influenciou a taxa de transpiração e que a rega R1 permitiu satisfazer as necessidades hídricas da cultura nessa altura de menor solicitação atmosférica.

As taxas máximas diárias de transpiração registadas nas sub-parcelas da rega R1 e R2 durante 2011 entre 24 de Março e 29 Outubro foram respetivamente de 53.2 L/árv/dia e 66.4 L/árv/dia. Nesse mesmo período, a transpiração acumulada registou 7439 L/árv para a rega R1 e 8273 L/árv para a rega R2, observando-se assim que para a rega R1 a dotação total aplicada (7399 L/árv) foi inferior à transpiração acumulada,

enquanto a rega R2 forneceu bastante mais água (9230 L/árv) do que a necessária para satisfazer a transpiração acumulada da cultura (8273 L/árv).

Note-se que a atribuição de uma dotação de rega total acima da transpiração acumulada é justificável para compensar a água perdida por evaporação do solo, embora, tal como já se referiu anteriormente, para oliveais com elevada taxa de cobertura do solo, esta componente tem uma importância relativamente baixa no consumo total de água (4 a 12%).

A Figura 20 ilustra a transpiração medida através das sondas do fluxo de seiva, nas mesmas árvores do olival AC durante o ano de 2012, mas em que a rega modificada R2 foi implementada substituindo de forma permanente a linha de gotejadores de 1.6 Lh⁻¹ por gotejadores de 2.3 Lh⁻¹, fazendo com que ao longo de todo o ciclo cultural a rega R2 tenha aplicado uma dotação 31% superior à da rega normal R1. O ano de 2012 foi mais quente e seco que 2011, sendo observável na Figura 20 que a ET_0 manteve-se nos meses de Verão com maior persistência em valores acima de 6 mm/dia relativamente ao ano de 2011.

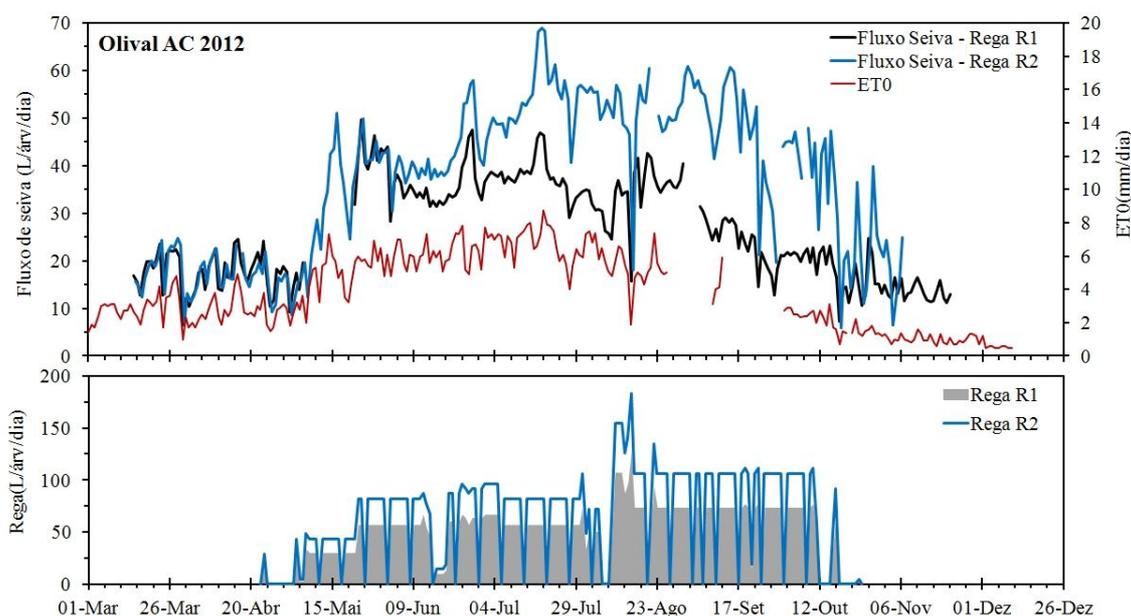


Figura 20- Evolução do fluxo de seiva no Olival AC, dotações de rega em cada modalidade e evapotranspiração de referência registados em 2012

No olival AC, em 2012, houve períodos em que a monitorização de fluxo de seiva foi interrompida devido a problemas técnicos que estão identificados como descontinuidades nos gráficos. Apesar destas falhas pontuais verifica-se que a taxa de transpiração das oliveiras monitorizadas respondeu de forma expressiva às diferentes

dotações de rega adotadas.

Em 2012, no final da campanha de rega, a rega R1 acumulou 8266 L/árv e a rega R2 acumulou uma dotação de 11877 L/árv. Como a diferença imposta nas dotações de rega das sub-parcelas foi mantida constante ao longo do ciclo cultural, o comportamento da taxa de transpiração entre modalidades de rega também registou uma diferença mais evidente, com a sub-parcela de rega R2 a assumir uma taxa de transpiração sempre mais elevada a partir do início de Junho. No período anterior a Junho, a diferença nas taxas de transpiração entre as duas sub-parcelas não se fez sentir, o que indica que a dotação adicional aplicada neste período na modalidade de rega R2 não foi necessária à cultura.

Ao contrário do que ocorreu em 2011, em 2012 a taxa máxima de transpiração na rega R2 (68.9 L/árv/dia) coincidiu sensivelmente com o dia do ano em que ocorreu a ET_0 máxima (8.7 mm/dia no dia 19 de Julho), indicando que nesta modalidade de rega, a taxa de transpiração não foi limitada de forma significativa pela água que foi disponibilizada. Na rega R1 a taxa de transpiração registou o seu máximo a 24 de Maio (49.7 L/árv/dia), valor quase idêntico ao da modalidade de rega R2 no mesmo dia (49.8 L/árv/dia). Mas a partir desta data, e até ao fim do ciclo cultural, as taxas de transpiração em ambas as modalidades começaram a registar valores bastante diferentes, com a modalidade R1 a assumir valores sempre inferiores á da rega R2, o que sugere que a partir desse período, a transpiração na rega R1 foi mais limitada pela água disponibilizada que a rega R2.

Atendendo à forma como a taxa de transpiração na rega R2 seguiu de forma coerente a solicitação atmosférica, aqui expressa pela ET_0 , é possível afirmar que neste caso foi conseguida uma situação de conforto hídrico suficiente para a cultura manter uma evolução da taxa de transpiração concordante com a solicitação atmosférica e sem evidência de restrições devidas à disponibilidade de água no solo.

A transpiração acumulada no olival AC em 2012, entre 15 Março e 6 de Novembro foi de 5923 L/árv na rega R1 e de 8649 L/árv na rega R2, embora os valores reais tenham sido mais altos, dado que não foi possível contabilizar os períodos em que as sondas de fluxo de seiva tiveram falhas no funcionamento. Em ambas as modalidades de rega impostas no olival AC em 2012, as dotações aplicadas excederam a transpiração, embora a rega R2 tenha mantido, de acordo com a análise já efetuada, uma situação de maior conforto hídrico. Esta situação também é evidenciada pela

comparação das frações de água no tronco F_L (Figura 18), dado que a rega R1 teve uma descida acentuada de humidade no tronco no fim de Julho comparativamente à rega R2.

4.4.2 Resultados do fluxo de seiva no olival OS

Antes de descrever os resultados obtidos no olival OS importa referir que neste olival, os valores de dotação por árvore (em ambas as modalidades de rega) foram muito inferiores aos verificados anteriormente no olival (intensivo) AC, dado que no olival (superintensivo) OS a área definida pelo compasso é muito mais pequena e o rácio de gotejadores por árvore (Tabela 3) é de apenas 1.8 em comparação com 4.2 gotejadores/árvore no olival AC. O porte das árvores é também bastante diferente como se pode verificar no Anexo 1, sendo que o diâmetro médio das copas no olival OS é muito inferior ao do olival AC. Estes fatores implicam que quer as dotações aplicadas, quer os valores de transpiração foram significativamente diferentes nos olivais AC e OS.

A Figura 21 descreve o comportamento do fluxo de seiva medido em 2011 no olival OS superintensivo nas duas modalidades de rega adotadas.

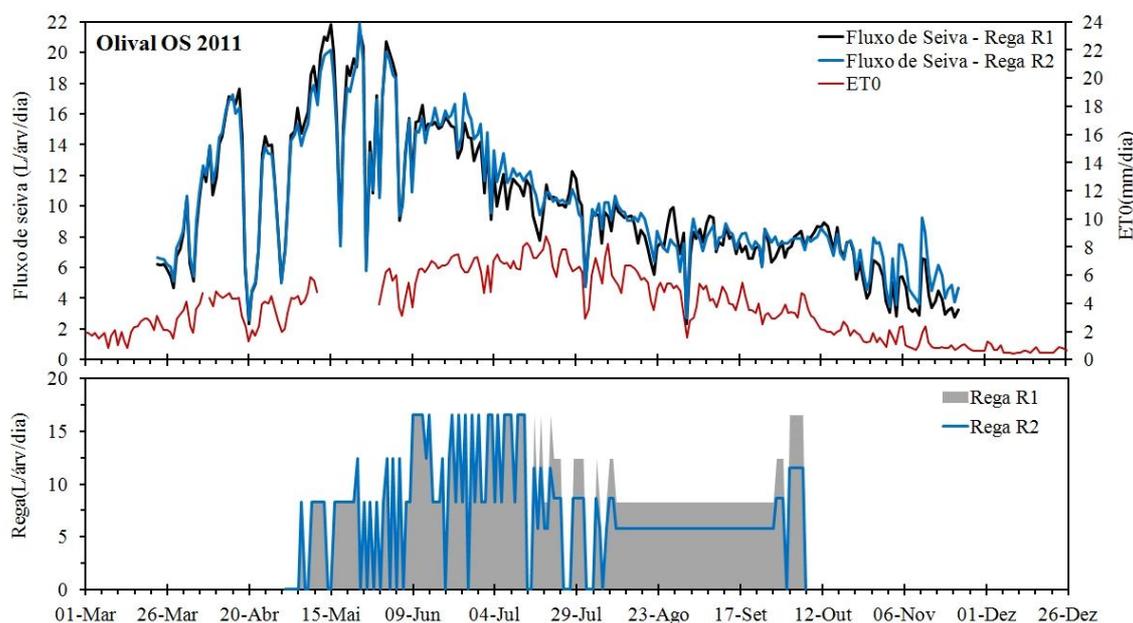


Figura 21- Evolução do fluxo de seiva no Olival OS, dotações de rega em cada modalidade e evapotranspiração de referência registados em 2011

O facto de ambas as curvas dos fluxos de seiva medidos nas duas modalidades de rega se sobreporem ao longo da maior parte do período analisado indica que houve

uma elevada semelhança no comportamento da taxa de transpiração entre as duas modalidades de rega e que as dotações de rega impostas não produziram entre si diferenças importantes na taxa de transpiração do olival OS. Em 2011 no olival OS, a modalidade de rega com maior dotação foi a rega normal praticada habitualmente pela entidade gestora do olival (R1), enquanto a rega modificada (R2) apresentou apenas uma alteração de dotação a partir de 16 de Julho até ao fim da campanha, determinada pela substituição da linha de rega equipada inicialmente com gotejadores de 2.3 L h^{-1} por uma linha com gotejadores de 1.6 L h^{-1} , mas mantendo o tempo de rega inalterado. No final da campanha de rega, a rega R1 acumulou 1391 L/árv e a rega R2 acumulou uma dotação de 1166 L/árv constituindo uma diferença de dotação anual de 16%.

A evolução das taxas de transpiração nas duas modalidades de rega relativamente à evolução da ET_0 expressa na Figura 21 sugere que, em ambas as modalidades de rega existiu uma deficiente satisfação das necessidades hídricas do olival. A geometria das curvas de transpiração não correspondeu à evolução da ET_0 ao longo do ciclo cultural, verificando-se que existiu uma evidente restrição na taxa de transpiração provocada por uma situação de rega insuficiente, principalmente nos meses de maior solicitação atmosférica. A taxa máxima de transpiração medida através das sondas de fluxo de seiva (21.9 L/árv/dia) ocorreu no dia 24 de Maio. Embora não existam valores de ET_0 disponíveis nesse período, resulta evidente que a ET_0 esperada em Maio não justifica uma transpiração superior relativamente aos meses de Verão subsequentes.

Importa referir que além da rega, a elevada precipitação ocorrida no fim de Abril de 2011 (descrita na Figura 14) contribuiu de forma importante para criar uma reserva de água no solo e permitiu à cultura, nesse período, manter um regime de transpiração elevado e não dependente da rega.

A partir de Junho, com o aumento progressivo da ET_0 diária, verificou-se que a resposta do fluxo de seiva á solicitação atmosférica, embora concordante à escala diária e acompanhando as pequenas oscilações de curto prazo, não acompanhou de forma proporcional a tendência da ET_0 de longo prazo, respondendo de forma muito ténue às suas variações. A amplitude de variação da transpiração no período de maior ET_0 foi também muito menor relativamente à amplitude verificada em Maio, verificando-se ainda que no período do Verão em que o olival está mais dependente da rega, existiu uma tendência decrescente da taxa de transpiração em Julho e Agosto, indicando que

rega aplicada não terá sido suficiente para a cultura manter a sua taxa de transpiração potencial.

No total do período de análise, entre 23 de Março e 23 de Novembro, as transpirações acumuladas nas sub-parcelas foram quase idênticas, com 2470 L/arv na rega R1 e 2527 L/arv na rega R2, confirmando que a pequena dotação adicional proporcionada pela rega R1 foi quase irrelevante para marcar diferenças na taxa de transpiração. Um facto importante é que as dotações de rega fornecidas ao longo do ciclo cultural no olival OS em 2011 corresponderam na rega R1 a apenas 56% da transpiração acumulada e a 46% na rega R2, pelo que o olival esteve muito dependente da precipitação e da reserva de água no solo para complementar a manutenção da sua taxa de transpiração.

Estes fatores permitem concluir que a taxa de transpiração no olival OS em 2011, e em ambas as modalidades de rega foi limitada pela água disponível no solo, existindo uma situação de défice hídrico, ou seja a rega foi em ambos os casos insuficiente para a cultura atingir a sua taxa de transpiração potencial. Esta situação também é coerente com os resultados das frações de água e madeira do tronco, descritos anteriormente na Figura 17, em que a evolução da fração de água no tronco (F_L) exibiu uma quebra acentuada no fim Julho, traduzindo a existência de uma desidratação do tronco. A diminuição da F_L verificada aponta para o estabelecimento de um elevado gradiente hidráulico entre a cultura e solo, indicando um esforço maior da cultura para compensar a perda de água por transpiração no período em que a solicitação atmosférica (ET_0) registava valores mais elevados.

A Figura 22 apresenta os resultados do fluxo de seiva medidos em 2012 no olival OS nas mesmas árvores que foram monitorizadas em 2011.

Em 2012, no olival OS introduziram-se alterações significativas na modalidade de rega modificada R2 que consistiu na substituição da linha de gotejadores de 2.3 L h⁻¹ por gotejadores de 1.6 L h⁻¹ ao longo de toda a campanha de rega, mantendo o tempo de rega idêntico relativamente à rega R1 (que manteve os gotejadores de 2.3 L h⁻¹). No final da campanha de rega, a rega acumulou 1615 L/árvo na modalidade R1 e 1129 L/árvo na rega R2, resultando numa diferença de 30% na dotação total aplicada entre modalidades de rega.

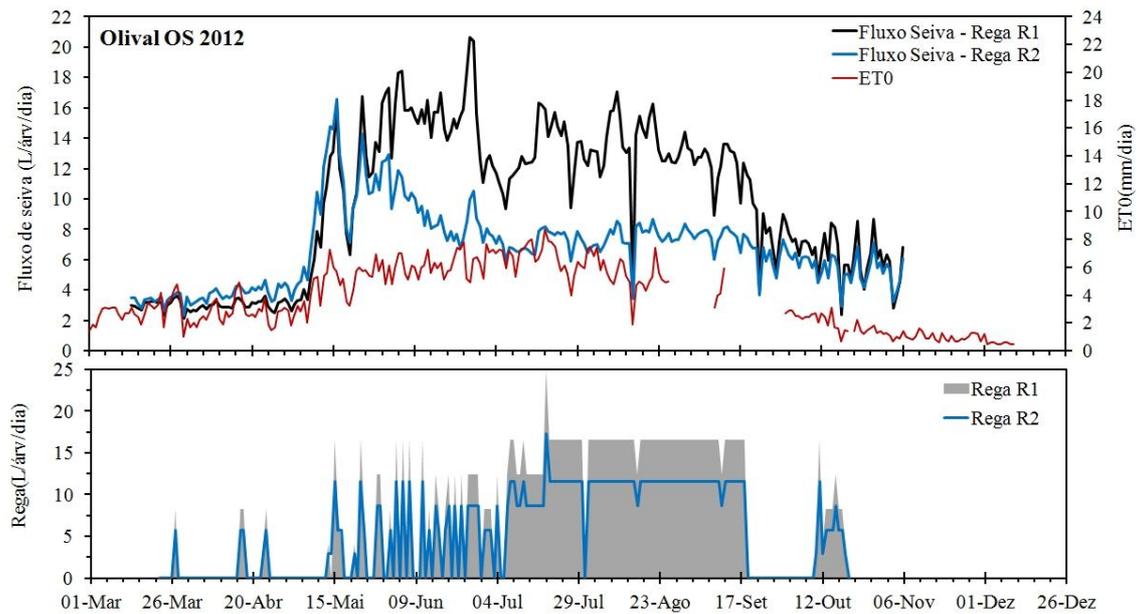


Figura 22- Evolução do fluxo de seiva no Olival OS, dotações de rega em cada modalidade e evapotranspiração de referência registados em 2012

No total do período de monitorização do fluxo de seiva em 2012, entre 14 de Março e 6 de Novembro, a transpiração acumulada nas sub-parcelas foi de 2285 L/árv na rega R1 e 1611 L/árv na rega R2. Tal como em 2011, verificou-se que em 2012, a dotação de rega aplicada em ambas as modalidades foi inferior à transpiração acumulada, sendo que a rega satisfaz em ambas as modalidades de rega cerca de 70% da transpiração acumulada. Ainda assim, o regime de rega normal R1 foi mais eficaz em 2012 que em 2011, porque a distribuição da dotação foi maior no período Julho a Setembro através do aumento do número de horas de rega, o que permitiu que a taxa de transpiração se mantivesse neste período em valores mais altos que no período homólogo de 2011 e com um maior grau de concordância com a evolução da ET_0 . A rega R2, tendo estabelecido em 2012 uma dotação mais baixa ao longo de todo o ciclo cultural relativamente a 2011, gerou uma evolução decrescente de transpiração semelhante à verificada em 2011 e igualmente discordante com a evolução da ET_0 .

No conjunto dos dois anos de análise, a comparação das taxas de transpiração e da evolução da ET_0 , indica que a transpiração sofreu limitações devido a insuficientes dotações de rega, especialmente no período do Verão. Verifica-se, no entanto, que a rega com maior dotação (R1) revelou-se mais apta para proporcionar à cultura uma taxa de transpiração mais elevada, e provavelmente mais próxima do máximo potencial, observando-se que no ano de 2012 o aumento do número de horas de rega no Verão e

consequentemente uma maior dotação diária, conduziu a taxas de transpiração mais próximas desse potencial. Para além da dotação total, a forma como as dotações se distribuíram no tempo também se revelou influente na evolução das taxas de transpiração verificadas, sendo notório que a rega R2 com dotações totais semelhantes nos dois anos estudados resultou em transpirações acumuladas muito diferentes em 2011 e 2012.

4.4.3 Resumo dos resultados de transpiração obtidos pelo fluxo de seiva

Na Tabela 4 apresentam-se os resumos dos resultados de transpiração acumulada, as dotações totais de rega aplicada em todas as modalidades de rega (R1 e R2) e a precipitação anual acumulada. Os resultados são apresentados em (L/árv) e também expressos em (mm). Note-se que a área de compasso no olival OS é de 5.06 m² e no olival AC é de 33.60 m², tendo sido estes os valores utilizados para a conversão dos resultados em (mm).

Tabela 4- Resumo dos resultados de transpiração, dotações de rega e precipitação acumuladas em 2011 e 2012 para cada olival (OS e AC) e modalidade de rega (R1 e R2), expressas em (L/árv) e dos valores equivalentes em (mm) considerando a área definida pelo compasso

Olival:		Transpiração				Rega				Precipitação	
		OS-R1	OS-R2	AC-R1	AC-R2	OS-R1	OS-R2	AC-R1	AC-R2	OS	AC
2011	(L/árv)	2470	2527	7439	8273	1391	1166	7399	9230	2568	17042
	(mm)	488	499	221	246	275	230	220	275	507	507
2012	(L/árv)	2285	1611	5923	8649	1615	1129	8266	11877	1663	11037
	(mm)	451	318	176	257	319	223	246	353	329	329

Importa ainda especificar que os valores expressos na Tabela 4 relativamente às dotações de rega de cada modalidade correspondem aos valores acumulados no fim da campanha de rega anual. Relativamente aos valores de transpiração, os valores acumulados no olival OS em 2011 correspondem ao período 23 Março a 23 Novembro, e em 2012 ao período entre 14 Março e 6 Novembro. No olival AC, os valores acumulados de transpiração incluem em 2011, o período entre 24 Março a 29 Outubro, e em 2012 o período entre 15 Março e 6 Novembro.

Como seria de esperar, o maior compasso do olival AC confere à cultura uma maior área por árvore, e consequentemente um maior volume de solo disponível por árvore para receber e armazenar a precipitação. É também evidente pela comparação

entre os valores de transpiração acumulados em ambos os olivais e a precipitação, que o olival OS (superintensivo) esteve muito mais dependente da rega que o olival AC (intensivo).

4.5 Transpiração estimada através do balanço de energia da copa

A estimativa da transpiração utilizando o método do balanço de energia com o modelo bi-camada foi feita apenas para o olival OS, tendo-se monitorizado a sub-parcela afeta à rega R1 durante os anos de 2011 (15 Julho a 31 Outubro) e 2012 (11 Abril a 11 Setembro). A aplicação desta metodologia foi implementada com o objetivo de procurar obter uma monitorização contínua de longo prazo da transpiração e com um grau de automatismo semelhante ao conseguido com o método da medição do fluxo de seiva. A metodologia utilizada para estimar a transpiração através do balanço de energia devolve valores diurnos do fluxo de vapor da cultura E_c (mm/árv/dia), que correspondem à transferência de vapor de água entre a área foliar e o ar envolvente, e por conseguinte traduz a transpiração cultural. Para compatibilizar os resultados com a transpiração obtida através da medição do fluxo de seiva converteram-se os valores da transpiração para L/árv/dia, considerando a área do compasso em (m^2) e a equivalência ($1 \text{ mm} = 1 \text{ L m}^{-2}$). Os resultados de transpiração diária obtida com este método estão listados nos Anexos 7 e 8.

4.5.1 Transpiração estimada através do balanço de energia da copa no olival OS em 2011

A Figura 23 descreve para o ano de 2011 a evolução temporal dos principais parâmetros obtidos no terreno para a execução do modelo balanço de energia da copa relativos à temperatura radiativa da copa T_c e radiação líquida sobre a copa R_n . A diferença de temperatura que se verifica entre a copa e o ar ($T_c - T_a$) traduz o arrefecimento que ocorre na copa relativamente ao ar envolvente devido à perda de energia que decorre da transpiração nas folhas da copa. Desta forma, os valores ($T_c - T_a$) resultam geralmente negativos ou próximos de zero.

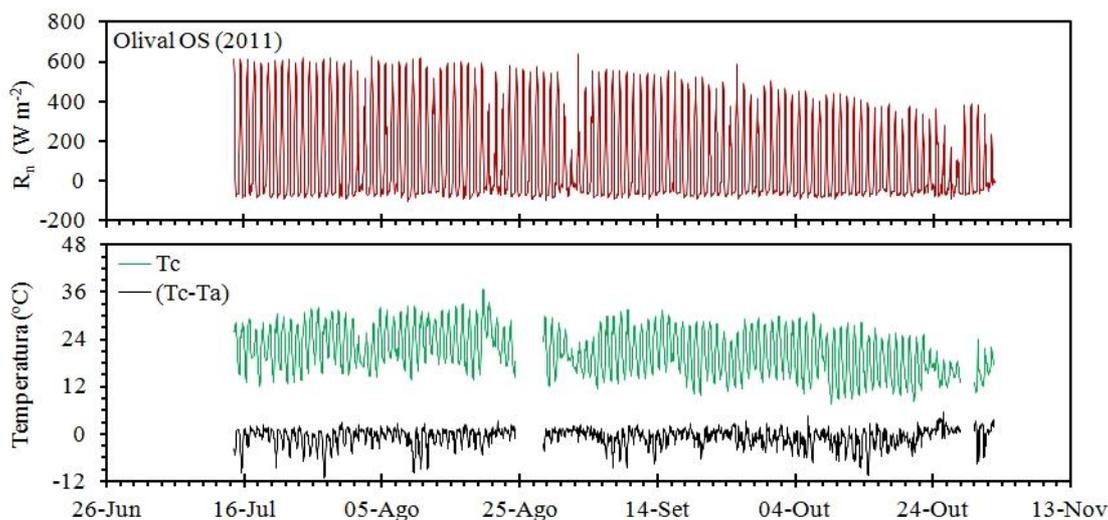


Figura 23 - Evolução dos parâmetros de temperatura radiativa da copa (T_c), diferença entre a temperatura da copa e do ar (T_c-T_a) e radiação líquida sobre a copa R_n no olival OS em 2011

A Figura 24 descreve a transpiração, estimada através da componente E_c do modelo de balanço de energia da copa e a correspondente transpiração medida com o método do fluxo de seiva no mesmo período em 2011. As discontinuidades observadas na Figura 24, na curva de transpiração obtida pelo método do balanço de energia, devem-se a períodos em que a estação meteorológica ou o radiômetro IV, que intervêm na medição da temperatura da copa não estiveram operacionais, inviabilizando a execução do modelo.

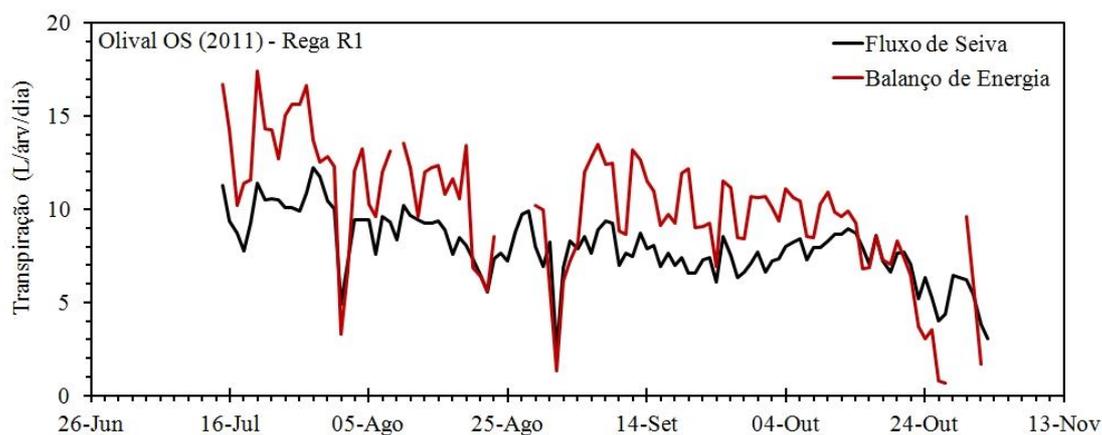


Figura 24- Comparação da transpiração estimada através do balanço de energia e da transpiração medida com o método do fluxo de seiva em 2011 no olival OS na modalidade de rega R1

Verifica-se na Figura 24 que a transpiração estimada através do modelo de balanço de energia apresentou, em termos de tendência, uma evolução semelhante à transpiração medida com o método do fluxo de seiva, embora o balanço de energia da

copa tenha devolvido valores mais elevados. A discordância entre os valores medidos e estimados foi menor em situações de baixa transpiração, verificando-se uma quase sobreposição quando a transpiração medida se aproximou ou se situava abaixo de 10 L/árv/dia, mas quando a transpiração diária foi mais elevada, o modelo de balanço de energia tendeu claramente a sobrestimar a transpiração. Os resultados de transpiração cultural do modelo de balanço de energia apresentaram ao longo do período analisado uma maior amplitude nas oscilações de transpiração diária estimada, que contrasta com a maior estabilidade verificada na transpiração média diária medida pelo método do fluxo de seiva.

Verificou-se no final de Outubro uma grande discrepância entre a transpiração medida e a estimada, em que a transpiração estimada caiu abruptamente. A explicação mais provável para esta situação é que a ocorrência de precipitação significativa nos últimos dias de Outubro (Figura 14), e a consequente acumulação de precipitação nas folhas afetou a leitura radiativa da temperatura da superfície foliar focada pelo radiómetro IV. Esta quebra acentuada na transpiração estimada pelo modelo de balanço de energia também foi observável no dia 1 de Setembro em que também houve registo de precipitação significativa.

4.5.2 Transpiração estimada através do balanço de energia da copa no olival OS em 2012

A evolução temporal dos principais parâmetros obtidos para a execução do modelo de balanço de energia em 2012 está descrita na Figura 25. A radiação líquida sobre a copa R_n apresentou uma evolução coerente ao longo do período analisado. No entanto, a temperatura radiativa da copa T_c e a sua correspondente diferença com a temperatura do ar ($T_c - T_a$) assumiram uma evolução bastante diferente da verificada em 2011. É visível no gráfico da curva ($T_c - T_a$) que existiu mais oscilação relativamente a 2011 e uma maior densidade de pontos acima de zero, ou seja, a temperatura radiativa da copa T_c registou frequentemente valores acima da temperatura do ar T_a .

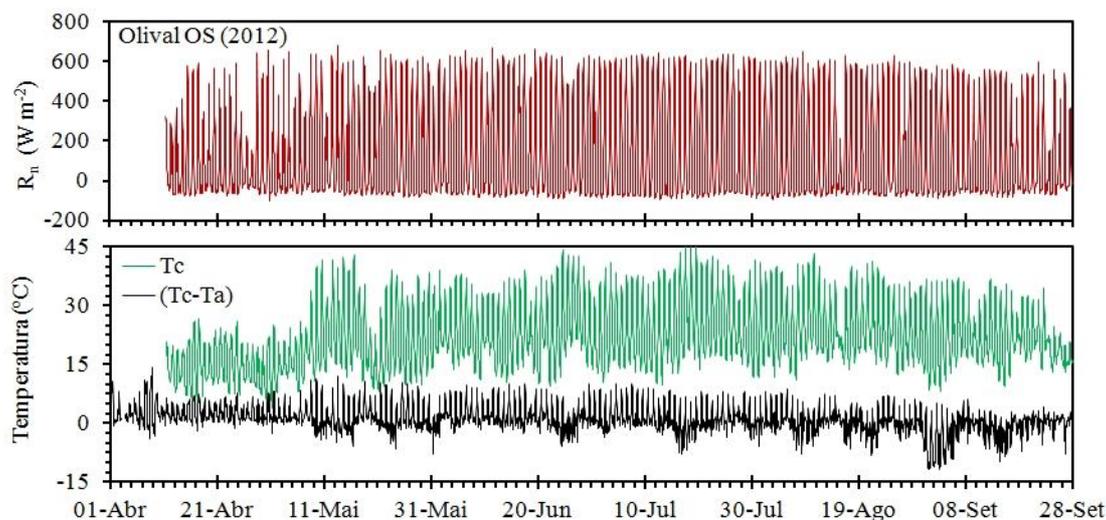


Figura 25- Evolução dos parâmetros de temperatura radiativa da copa (T_c), diferença entre a temperatura da copa e do ar (T_c-T_a) e radiação líquida sobre a copa R_n no olival OS em 2012

Os resultados obtidos da transpiração, estimada através da componente E_c do modelo de balanço de energia da copa e da transpiração medida com o método do fluxo de seiva em 2012 estão descritos na Figura 26. Da observação da Figura 26 conclui-se que em 2012 verificou-se uma grande diferença entre os valores de transpiração medidos através das sondas de fluxo de seiva e os valores estimados através do balanço de energia, que ao contrário de 2011, foram neste caso subestimados relativamente aos valores medidos. A discrepância maior situou-se no período de Maio a Julho, em que a transpiração estimada pelo método do balanço de energia manteve uma evolução semelhante à transpiração medida mas assumiu valores muito inferiores e com menor amplitude nas variações diárias.

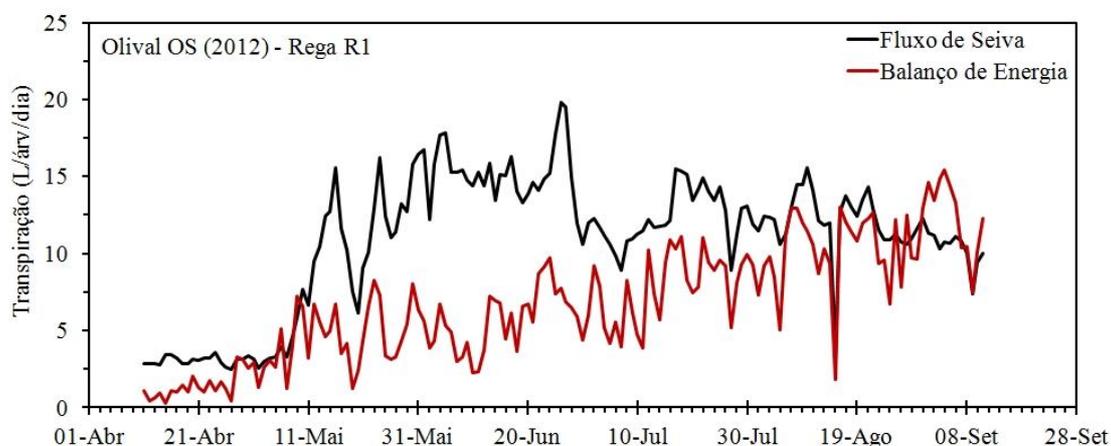


Figura 26 - Comparação dos resultados de transpiração estimada com o balanço de energia e da transpiração medida com o método do fluxo de seiva em 2012 no olival OS na rega R1

A análise dos resultados de transpiração obtidos através do modelo de balanço de energia comparativamente ao fluxo de seiva, bem como a correlação encontrada entre estes métodos será desenvolvida e discutida na secção seguinte, onde também se analisam as possíveis causas do pior desempenho do modelo de balanço de energia da copa observado no ano de 2012.

4.6 Análise de correlação entre a transpiração medida e estimada no olival OS

Nesta secção, a transpiração medida através do método do fluxo de seiva representa-se por T_{FS} (L/árv/dia) e a transpiração estimada pelo método do balanço de energia por T_{BE} (L/árv/dia). A Figura 27 e a Figura 28 descrevem o ajustamento obtido através de uma regressão linear entre a transpiração estimada através do balanço de energia e a transpiração medida através do fluxo de seiva no olival OS em 2011 e 2012 na modalidade de rega R1. A análise do desempenho do modelo de balanço de energia como método de estimar a transpiração relativamente à medição do fluxo de seiva está expressa com mais detalhes na Tabela 5, que lista os resultados dos parâmetros estatísticos estabelecidos na secção 3.8 para descrever o grau de correlação entre os dois métodos. A qualidade do ajustamento obtido nos dois anos (2011 e 2012) entre a T_{FS} e a T_{BE} foi muito diferente, verificando-se que no ano 2011, o ajustamento conseguido foi substancialmente melhor ($R^2=0.7153$) que em 2012 ($R^2=0.2967$).

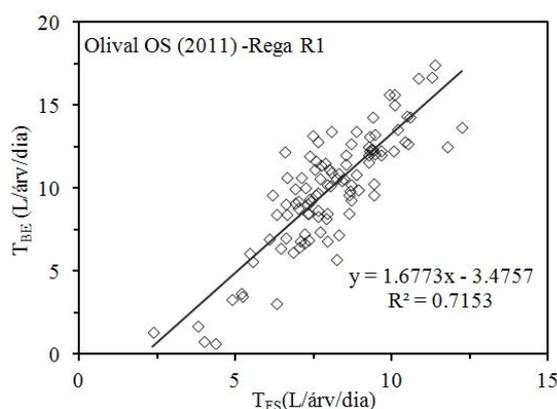


Figura 27- Ajustamento linear obtido entre os valores de transpiração medidos do fluxo de seiva (T_{FS}) e estimados através do balanço de energia da copa (T_{BE}) no olival OS em 2011

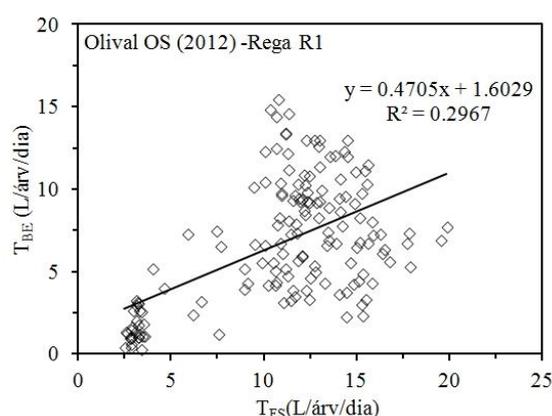


Figura 28- Ajustamento linear obtido entre os valores de transpiração medidos do fluxo de seiva (T_{FS}) e estimados através do balanço de energia da copa (T_{BE}) no olival OS em 2012

Tabela 5- Resumo das medidas quantitativas de desempenho do modelo do balanço de energia da copa relativamente à transpiração medida através das sondas de fluxo de seiva no olival OS nos anos de 2011 e 2012

Ano	\bar{T}_{FS}	\bar{T}_{BE}	δT_{FS}	δT_{BE}	n	a	b	MBE	MAE	$RMSE$	$RMSE_s$	$RMSE_u$	R^2
2011	7.97	9.96	1.75	3.41	111	-3.476	1.677	1.79	2.24	2.78	2.17	1.74	0.715
2012	10.85	6.71	4.37	3.78	154	1.603	0.471	-4.14	4.54	5.70	4.74	3.16	0.297

Descrição dos parâmetros e unidades:

\bar{T} = Valor médio de transpiração (L/árv/dia)	MBE = Erro médio (L/árv/dia)
a = Constante da reta de regressão linear (L/árv/dia)	MAE = Média dos erros absolutos (L/árv/dia)
b = Declive da reta de regressão linear (L/árv/dia)	$RMSE$ = Erro padrão de estimativa (L/árv/dia)
R^2 = coeficiente de determinação da regressão linear	$RMSE_s$ = $RMSE$ sistemático (L/árv/dia)
n = Número de pares de valores considerados	$RMSE_u$ = $RMSE$ não sistemático (L/árv/dia)
δ = Desvio padrão	

Nos resultados de 2011, a baixa dispersão de pontos entre a T_{FS} e a T_{BE} que é visível na Figura 27, evidencia uma relação coerente entre os dois métodos utilizados para avaliar a transpiração. Atendendo ao baixo valor da média dos erros absolutos entre a T_{FS} e a T_{BE} ($MAE=2.24$ L/árv/dia) e ao baixo erro padrão de estimativa ($RMSE=2.78$ L/árv/dia), o modelo do balanço de energia proporcionou uma boa capacidade de estimação da transpiração, embora tenha exibido uma tendência para estimar valores de transpiração mais elevados que os medidos pelo fluxo de seiva, que é confirmada pelo sinal positivo obtido no erro médio ($MBE=1.79$ L/árv/dia).

Os resultados de transpiração em 2012 apontam para um mau desempenho do modelo de balanço de energia relativamente ao método do fluxo de seiva, verificando-se um erro padrão de estimativa bastante mais elevado ($RMSE = 5.70$ L/árv/dia) e uma tendência do modelo para subestimar a transpiração que é denunciada pelo sinal negativo do erro médio ($MBE = -4.14$ L/árv/dia).

O maior peso relativo da componente sistemática $RMSE_s$, relativamente à componente não sistemática $RMSE_u$, presente no erro padrão de estimativa $RMSE$ indica que o modelo teve uma fonte de erros persistente ao longo do tempo. Existem várias fontes de imprecisão na implementação do modelo de balanço de energia com potencial para afetar os resultados de transpiração estimada, nomeadamente o facto de a velocidade do vento e a temperatura do ar terem sido obtidos na estação meteorológica automática situada no olival AC e não corresponderem, por isso, exatamente às condições específicas presentes no olival OS na posição de referência, considerada acima da copa. Por outro lado, apenas uma árvore foi monitorizada pelo radiómetro IV

para registrar a temperatura da copa, o que reduz o grau de representatividade dos resultados obtidos relativamente ao fluxo de seiva (que foi medido em três árvores). Acresce ainda o facto da árvore monitorizada pelo radiómetro IV não coincidir com nenhuma das que foram monitorizadas pelas sondas de fluxo de seiva, podendo existir diferenças nos valores absolutos de transpiração devidos a diferenças específicas da árvore monitorizada com o radiómetro IV. Estes fatores de imprecisão contribuem certamente para os erros padrão de estimativa *RMSE* obtidos.

Em 2012, o mau ajustamento obtido entre os valores medidos e estimados de transpiração deveu-se, para além dos fatores de imprecisão já identificados, à impossibilidade de cumprir um dos pressupostos mais importantes do modelo de balanço de energia da copa utilizado, que é a necessidade de ter uma superfície térmica homogénea e representativa da área foliar da copa. Devido à queda de uma parte importante das folhas nas oliveiras do olival OS no início de 2012, que causou uma redução significativa do *LAI*, a superfície térmica observada pelo radiómetro IV não representou de forma adequada a temperatura das folhas. A “transparência térmica” da copa causada por esta situação poderá ter permitido que a radiação térmica do solo atingisse o radiómetro IV através dos espaços abertos na copa, fazendo com que as diferenças registadas entre a temperatura do ar e a temperatura da copa ($T_c - T_a$) tivessem valores que não corresponderam efetivamente à temperatura da área foliar a copa. A comparação entre a Figura 23 e a Figura 25 confirma claramente um comportamento anómalo da diferença ($T_c - T_a$) em 2012 como resultado da “transparência térmica” da copa nesse ano.

5. Conclusões

A monitorização da transpiração nos dois olivais estudados permitiu observar a resposta do consumo de água pela cultura em função das diferentes modalidades de rega impostas e condições de solicitação atmosférica verificadas ao longo do ciclo cultural.

Um dos fatores mais importantes que deve ser verificado quando se procura transpor os resultados de transpiração medidos em árvores individuais para a população de árvores de uma parcela é o grau de representatividade dos resultados, dado que na prática, devido aos custos e à complexidade do equipamento utilizado, não é viável equipar e manter um grande número de árvores monitorizadas no terreno. Nos novos olivais de regadio, como os que foram objeto de estudo neste trabalho, verificou-se que a uniformidade nas dimensões das árvores e dos métodos de gestão (rega, poda e fertilização) são muito elevados, pelo que é razoável admitir que os métodos aqui avaliados para determinar a transpiração em árvores individuais podem ser eficazmente integrados em sistemas de informação com vista à gestão da rega, desde que a escolha das árvores a monitorizar para o efeito seja razoavelmente representativa da população de árvores do olival.

Nos olivais analisados, verificou-se que nos períodos em que não houve diferenças de dotação aplicadas nas sub-parcelas de rega (R1 e R2), as taxas de transpiração médias, medidas através do método do fluxo de seiva, foram praticamente idênticas entre sub-parcelas. Este facto confirma que há uma grande homogeneidade nas árvores nos atuais olivais de regadio, e permite também concluir que neste trabalho foi conseguida uma boa representatividade entre as árvores monitorizadas nas respetivas sub-parcelas de rega definidas relativamente à população de árvores de cada olival.

As taxas diárias de transpiração obtidas através da medição do fluxo de seiva em ambos os olivais (AC e OS) foram coerentes com os regimes de rega aplicados e também com as dimensões relativas das árvores. No conjunto dos dois anos analisados, o olival superintensivo OS atingiu uma taxa máxima de transpiração diária de 21.8 L/arv/dia, enquanto o olival intensivo AC composto por árvores de maior porte, registou um máximo de 68.9 L/arv/dia. Em ambos os olivais, foram as sub-parcelas com maior dotação de rega que registaram as taxas médias de transpiração diária mais elevadas, verificando-se no conjunto dos resultados de transpiração obtidos através do método do fluxo de seiva, que o olival tem uma ampla capacidade de resposta e de ajustamento da

sua taxa de transpiração em função da disponibilidade de água e das condições de solicitação atmosférica. A comparação diária entre as dotações aplicadas e a taxa de transpiração, especialmente nos meses com maior solicitação atmosférica, pode constituir um indicador útil para ajustar a dotação de rega, já que quando se registam taxas de transpiração diária acima das dotações aplicadas, isso significa que a cultura está a usar a reserva de água no solo para além da água que é repostada pela rega.

No olival OS, para além da medição da transpiração pelo método do fluxo de seiva, procedeu-se à monitorização do *LAI*, da radiação líquida e da temperatura radiativa da copa, com o objetivo de determinar a taxa de transpiração através da aplicação de um modelo de balanço de energia da copa. O dispositivo experimental, instalado para monitorizar regularmente o *LAI* através de um conjunto de sensores *PAR* durante os dois anos estudados, permitiu obter valores de *LAI* coerentes com os compassos dos olivais AC e OS, e com a evolução da densidade foliar das suas copas ao longo do ciclo cultural. Ao longo de 2011 e 2012, os *LAI* obtidos variaram entre 0.43 e 0.94 no olival AC e 0.56 a 1.26 no olival OS. Os valores de *LAI* obtidos através dos sensores *PAR* foram ainda pontualmente verificados com um ceptómetro portátil, que devolveu valores de *LAI* muito semelhantes.

Os resultados de transpiração estimados através do balanço de energia da copa em 2011 foram coerentes com a transpiração medida através do fluxo de seiva, verificando-se contudo, que o balanço de energia sobrestimou a transpiração, especialmente nos dias de maior solicitação atmosférica. A capacidade do modelo de balanço de energia para estimar a transpiração relativamente ao fluxo de seiva, foi testada através de uma regressão linear dos valores diários de transpiração obtidos pelos dois métodos, verificando-se um coeficiente de determinação (R^2) de 0.7153 e um erro padrão de estimativa (*RMSE*) de 2.78 L/árv/dia.

Os resultados de transpiração estimada em 2012 através do modelo de balanço de energia da copa foram significativamente piores que em 2011 com o modelo a obter um R^2 de apenas 0.2967 relativamente à transpiração medida através do método do fluxo de seiva e com um erro padrão de estimativa mais elevado (*RMSE*=5.70 L/árv/dia). A análise dos principais parâmetros de entrada do modelo de balanço de energia, permitiu concluir que a situação que determinou o pior desempenho do modelo em 2012 foi o incumprimento do pressuposto de que a temperatura radiativa obtida pelo radiómetro IV deve ser representativa em exclusivo da área foliar da copa. A leitura da temperatura

radiativa da copa medida através do radiómetros IV só se revelou eficaz em situações de elevada densidade foliar (*LAI* elevado), o que coloca importantes limitações ao domínio de aplicabilidade do modelo de balanço de energia da copa utilizado.

Em condições de baixa densidade foliar na copa (baixo *LAI*), o método do balanço de energia da copa não permitiu estimar de forma aceitável a taxa de transpiração, devido principalmente à elevada transparência térmica da copa, que permitiu que o radiómetro captasse parcialmente no seu campo de visão a temperatura do solo em vez da captação exclusiva da temperatura das folhas que participam no processo de transpiração. Esta situação conduz a temperaturas radiativas medidas mais elevadas que as reais da superfície foliar, que introduz nos resultados uma subestimação dos resultados de transpiração. Adicionalmente, o facto de as variáveis meteorológicas utilizadas no modelo terem como origem dados obtidos não no olival OS, mas sim na estação meteorológica no olival AC pode ter sido um fator de erro importante a afetar o desempenho do modelo nos dois anos estudados.

O bom ajustamento obtido em 2011 entre o método de balanço de energia bicamada e o fluxo de seiva, sugere que a formulação do modelo tenha sido razoavelmente eficaz na representação dos fluxos de energia que participam no processo de transpiração cultural do olival. No entanto, o rigor dos resultados do balanço de energia da copa revelou-se dependente de um grande número de parâmetros e pressupostos cujo domínio de validade é suscetível de variar consideravelmente no tempo e no espaço tornando-o mais vulnerável a erros por efeito de acumulação, que podem em algumas condições inviabilizar a sua utilização.

Conclui-se assim, que a determinação da transpiração através da medição do fluxo de seiva com a técnica *CHP* revelou-se mais fácil de implementar e mais adequada para uma monitorização prolongada do olival com um elevado grau de automatismo, exigindo apenas intervenções periódicas para a determinação do diâmetro do tronco e das frações de madeira e água no tronco para manter a precisão dos resultados. Do ponto de vista prático, e na perspetiva da sua aplicação e integração num sistema de gestão de rega do olival, o método do fluxo de seiva apresentou vantagens operacionais significativas relativamente ao método do balanço de energia da copa por não estar dependente da densidade do coberto, cuja modelação é significativamente complexa.

Foi possível verificar que a taxa de transpiração varia consideravelmente ao longo do ciclo cultural, pelo que na perspetiva do uso conservativo da água, existem claras

vantagens em fazer uma gestão de rega dinâmica em função do consumo de curto prazo medido na cultura, em detrimento de dotações diárias definidas de forma estática. Tendo em conta que o papel da rega é complementar a irregularidade da precipitação, a situação ideal de rega, na ausência de precipitação deve apontar para uma dotação que reponha a água perdida pela transpiração e evaporação, atribuindo dotações variáveis ao longo do ciclo cultural ajustadas ao consumo verificado. Tendo em conta que a evaporação do solo constitui uma componente de consumo residual nos olivais modernos de regadio equipados com rega localizada, a comparação da informação diária do consumo de água da cultura obtida pelo fluxo de seiva relativamente à dotação aplicada pela rega, complementada com informação meteorológica local pode ser utilizada para conseguir uma gestão de rega mais dinâmica e eficiente.

Referências bibliográficas

- Allen, R.G., Pereira, L.S., 1998. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. Irrigation and Drainage 300, 1–15.
- Angelopoulos, K., Dichio, B., Xiloyannis, C., 1996. Inhibition of photosynthesis in olive trees (*Olea europaea* L.) during water stress and rewatering. *J. Exp. Bot.* 47, 1093–1100.
- Awal, M.A., Ismail, W.I.W., Harun, M.H., Endan, J., 2005. Methodology and measurement of radiation interception by quantum sensor of the oil palm plantation. *Songklanakarin J. Sci. Technol.*, 27, 1083–1093.
- Becker, P., Edwards, W.R.N., 1999. Corrected heat capacity of wood for sap flow calculations. *Tree Physiol.* 19, 767–768.
- Berni, J.A.J., Zarco-Tejada, P.J., Sepulcre-Cantó, G., Fereres, E., Villalobos, F., 2009. Mapping canopy conductance and CWSI in olive orchards using high resolution thermal remote sensing imagery. *Remote Sensing of Environment* 113, 2380–2388.
- Bonachela, S., Orgaz, F., Villalobos, F., Fereres, E., 2001. Soil evaporation from drip-irrigated olive orchards. *Irrig Sci* 20, 65–71.
- Bréda, N., Granier, A., 1996. Intra- and interannual variations of transpiration, leaf area index and radial growth of a sessile oak stand (*Quercus petraea*). *Annales des Sciences Forestières* 53, 521–536.
- Burgess, S.S.O., Adams, M.A., Bleby, T.M., 2000. Measurement of sap flow in roots of woody plants: a commentary. *Tree Physiol* 20, 909–913.
- Burgess, S.S.O., Adams, M.A., Turner, N.C., Beverly, C.R., Ong, C.K., Khan, A.A.H., Bleby, T.M., 2001. An improved heat pulse method to measure low and reverse rates of sap flow in woody plants. *Tree Physiol* 21, 589–598.
- Camilo, M.L., Pereira, M.J., 2004. Azeite - um culto de tradição secular. *Pessoas e lugares- Jornal de animação da rede Portuguesa Leader+*;Nº19 3.
- Campbell, S., Norman, J.M., 1998. *An Introduction to Environmental Biophysics*, 2nd ed. Springer.
- Cardoso, J.C., 1974. A classificação de solos de Portugal - nova versão. *Boletim de Solos - Serviço de Reconhecimento e de Ordenamento Agrário* 17, 14–46.
- Chen, J.M., Black, T.A., 1991. Measuring leaf area index of plant canopies with branch architecture. *Agricultural and Forest Meteorology* 57, 1–12.
- Chen, J.M., Black, T.A., Adams, R.S., 1991. Evaluation of hemispherical photography for determining plant area index and geometry of a forest stand. *Agricultural and Forest Meteorology* 56, 129–143.
- Choudhury, B.J., Monteith, J.L., 1988. A four-layer model for the heat budget of homogeneous land surfaces. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 114, 373–398.
- Cohen, Y., Fuchs, M., Green, G.C., 1981. Improvement of the heat pulse method for determining sap flow in trees. *Plant, Cell & Environment* 4, 391–397.
- Colaizzi, P.D., Kustas, W.P., Anderson, M.C., Agam, N., Tolk, J.A., Evett, S.R., Howell, T.A., Gowda, P.H., O’Shaughnessy, S.A., 2012. Two-source energy balance model estimates of evapotranspiration using component and composite surface temperatures. *Advances in Water Resources* 50, 134–151.
- Cooperativa Agrícola de Moura e Barrancos, 2011. Projeto de Reconversão do olival -

- 2ª Fase do Projecto de Emparcelamento dos Coutos de Moura. Cooperativa Agrícola de Moura e Barrancos.
- EDIA, 2012. EDIA- Empreendimento de Fins Múltiplos de Alqueva [WWW Document]. URL <http://www.edia.pt>.
- Edwards, W.R.N., Warwick, N.W.M., 1984. Transpiration from a kiwifruit vine as estimated by the heat pulse technique and the Penman-Monteith equation. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 27, 537–543.
- Ezzahar, J., Er-Raki, S., Marah, H., Khabba, S., Amenzou, N., Chehbouni, G., 2012. Coupling soil-vegetation-atmosphere transfer model with energy balance model for estimating energy and water vapor fluxes over an olive grove in a semi-arid region. *Global Meteorology* vol.1, no.1.
- Fassnacht, K.S., Gower, S.T., Norman, J.M., McMurtric, R.E., 1994. A comparison of optical and direct methods for estimating foliage surface area index in forests. *Agricultural and Forest Meteorology* 71, 183–207.
- Fernandez, J.E., Diaz-Espejo, A., Palomo, M.J., Dúran, P.J., Giron, I.F., Chamorro, V., 2004. Correction Factors for deriving actual sap flows from heat pulse velocities measured in the olive tree with the compensation method. Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla
- Fernández, J.E., Durán, P.J., Palomo, M.J., Diaz-Espejo, A., Chamorro, V., Girón, I.F., 2006. Calibration of sap flow estimated by the compensation heat pulse method in olive, plum and orange trees: relationships with xylem anatomy. *Tree Physiol* 26, 719–728.
- Fernández, J.E., Moreno, F., Girón, I.F., Blázquez, O.M., 1997. Stomatal control of water use in olive tree leaves. *Plant and Soil* 190, 179–192.
- Fernandez, J.E., Palomo, M.J., Diaz-Espejo, A., Clothier, B.E., Green, S.R., Giron, I.F., Moreno, F., 2001. Heat-pulse measurements of sap flow in olives for automating irrigation: tests, root flow and diagnostics of water stress. *Agricultural Water Management* 51, 99–123.
- Goudriaan J., 1977. *Crop micrometeorology: a simulation study*. Pudoc, Center for Agricultural Publishing and Documentation, Wageningen.
- Granier, A., Biron, P., Breda, N., Pontailler, J.-Y., Saugier, B., 1996. Transpiration of trees and forest stands: short and long-term monitoring using sapflow methods. *Global Change Biology* 2, 265–274.
- Green, S., 1993. Radiation balance, transpiration and photosynthesis of an isolated tree. *Agricultural and Forest Meteorology* 64, 201–221.
- Green, S., 1998. *Measurements of Sap Flow by the Heat-Pulse Method - An instruction Manual for the HPV system*. Environment and Risk Management Group, Hort Search Institute, New Zealand.
- Green, S., Clothier, B., Jardine, B., 2003. Theory and Practical Application of Heat Pulse to Measure Sap Flow. *Agronomy Journal* 95, 1371.
- Gucci, R., Barone, E., 2003. Response of olive trees to drought. Presented at the La Gestion de la sècheresse en oléiculture et en arboriculture pluviale", Sousse, Tunisia.
- Gucci, R., Cantini, C., Van Gardingen, P., Sharp, L., 1999. Determination of the plant area index of olive trees by hemispherical photography. *Acta Hort. (ISHS)* 474, 317–322.
- Heitman, J.L., Horton, R., Sauer, T.J., Ren, T.S., Xiao, X., 2010. Latent heat in soil heat flux measurements. *Agricultural and Forest Meteorology* 150, 1147–1153.
- Herbette, S., Cochard, H., 2010. Calcium Is a Major Determinant of Xylem

- Vulnerability to Cavitation. *Plant Physiol.* 153, 1932–1939.
- Hsiao, T.C., 1973. Plant Responses to Water Stress. *Annual Review of Plant Physiology* 24, 519–570.
- Huber, B., 1932. Beobachtung und Messung pflanzlicher Saftstromer. *Ber Dtsch Bot Ges* 50, 89–109.
- Huber, B., Schmidt, E., 1937. Eine kompensationsmethode zu thermoelektrischen messung langsamer safts tröme. *Berl. Deutsche Bot. Ges* 55, 514–529.
- INE I.P (Instituto Nacional de Estatística), 2009. Recenseamento Agrícola de 2009.
- Jackson, R.D., Idso, S.B., Reginato, R.J., Pinter, P.J., 1981. Canopy temperature as a crop water stress indicator. *Water Resources Research* 17, 1133–1138.
- Jarvis, P.G., McNaughton, K.G., 1986. *Stomatal Control of Transpiration: Scaling Up from Leaf to Region*. Academic Press.
- Jonckheere, I., Fleck, S., Nackaerts, K., Muys, B., Coppin, P., Weiss, M., Baret, F., 2004. Review of methods for in situ leaf area index determination: Part I. Theories, sensors and hemispherical photography. *Agricultural and Forest Meteorology* 121, 19–35.
- Jones, H.G., Stoll, M., Santos, T., Sousa, C. de, Chaves, M.M., Grant, O.M., 2002. Use of infrared thermography for monitoring stomatal closure in the field: application to grapevine. *J. Exp. Bot.* 53, 2249–2260.
- Jorge M., Avillez F., 2005. A Rentabilidade Futura do Olival de Regadio - Uma Oportunidade para Portugal. Presented at the Irricampo - Seminário de olival de regadio, Agrogos, sociedade de estudos e projectos.
- Kustas, W., Norman, J., 1999. Evaluation of soil and vegetation heat flux predictions using a simple two-source model with radiometric temperatures for partial canopy cover. *Agricultural and Forest Meteorology* 94, 13–29.
- Lafleur, P.M., Rouse, W.R., 1990. Application of an energy combination model for evaporation from sparse canopies. *Agricultural and Forest Meteorology* 49, 135–153.
- Lhomme, J.-P., Katerji, N., Perrier, A., Bertolini, J.-M., 1988. Radiative surface temperature and convective flux calculation over crop canopies. *Boundary-Layer Meteorol* 43, 383–392.
- Lhomme, J.P., Katerji, N., Bertolini, J.M., 1992. Estimating sensible heat flux from radiometric temperature over crop canopy. *Boundary-Layer Meteorology* 61, 287–300.
- Lhomme, J.-P., Monteny, B., Amadou, M., 1994. Estimating sensible heat flux from radiometric temperature over sparse millet. *Agricultural and Forest Meteorology* 68, 77–91.
- Marshall, D.C., 1958. Measurement of Sap Flow in Conifers by Heat Transport. 1. *Plant Physiol* 33, 385–396.
- Monsi, M., Saeki, T., 1953. Uber den Lichtfaktor in den Pflanzengesellschaften und seine Bedeutung fuur die Stoffproduktion. *Japanese Journal of Botany* 14, 22–52. ; (artigo republicado em 2005; On the Factor Light in Plant Communities and its Importance for Matter Production. *Ann Bot* 95,549–567).
- Monteith, J.L., 1965. Evaporation and environment. *Symp. Soc. Exp. Biol.* 19, 205–234.
- Monteith, J.L., 1981. Evaporation and surface temperature. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 107, 1–27.
- Pastor M., Castro J., García-Ortiz A., Martínez C. J., Orgaz F., Saavedra M., Vega V., 1996. Manejo del olival con riego por goteo. Junta de Andalucía- Consejería de

- Agricultura y Pesca, Sevilla.
- Pinto, L., 2004. O Olival em Portugal. Revista Voz da Terra - (CNA) Confederação Nacional de Agricultura N^o34 9–16.
- Rodrigues, P., 2011. Influência do regime hídrico e da rega no comportamento da casta Touriga Nacional na Região do Dão. Tese de Doutoramento em Engenharia dos Biosistemas - Instituto Superior de Agronomia, Lisboa, ISA.
- Rosenberg, N.J., Blad, B.L., Verma, S.B. 1983, Microclimate: The Biological Environment, 2nd edition, John Wiley & Sons, New York.
- Running, S.W., Coughlan, J.C., 1988. A general model of forest ecosystem processes for regional applications I. Hydrologic balance, canopy gas exchange and primary production processes. *Ecological Modelling* 42, 125–154.
- Santos, F.L., Valverde, P., Ramos, A.F., Reis, J.L., Castanheira, N.L., 2006. Olive tree's transpiration rates in southern Portugal, in: Paper Number 067123. Presented at the ASABE Annual International Meeting 2006, Portland, Oregon, EUA.
- Santos, F.L., Valverde, P.C., Ramos, A.F., Reis, J.L., Castanheira, N.L., 2007. Water use and response of a dry-farmed olive orchard recently converted to irrigation. *Biosystems Engineering* 98, 102–114.
- Serralheiro, R.P., Carvalho, M. de, Corte-Real, J., Toureiro, C., 2011. Sistema de Previsão e Gestão de Secas, SPGS, Domínio Agronómico: Relatório Final (report). INAG, Projeto SPGS de Previsão e Gestão de Secas.
- Shaw, R.H., Pereira, A., 1982. Aerodynamic roughness of a plant canopy: A numerical experiment. *Agricultural Meteorology* 26, 51–65.
- Shuttleworth, W.J., Wallace, J.S., 1985. Evaporation from sparse crops-an energy combination theory. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 111, 839–855.
- Simões, M.P., Pinto-Cruz, C., Belo, A.F., Ferreira, L.F., Neves, J.P., Castro, M.C., 2007. Utilização de fotografia hemisférica na determinação do índice de área foliar de oliveiras jovens (*Olea europaea* L.). *Revista de Ciências Agrárias* 30, 527–534.
- Smith, D.M., Allen, S.J., 1996. Measurement of sap flow in plant stems. *Journal of Experimental Botany* 47, 1833–1844.
- Steduto, P., Hsiao T.C., Fereres E., Raes D., 2012 Food and Agriculture Organization of the United Nations, Crop yield response to water FAO irrigation and drainage paper ; 66. 0254-5284. FAO, Rome :
- Swanson, R.H., 1962. An instrument for detecting sap movement in woody plants /, Station paper (Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station (Fort Collins, Colo.)) ; Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station,.
- Swanson, R.H., Whitfield, D.W.A., 1981. A Numerical Analysis of Heat Pulse Velocity Theory and Practice. *J. Exp. Bot.* 32, 221–239.
- Taiz, L.F., Zeiger, E., 2006. *Plant Physiology*, 4th ed. Sinauer Associates Inc. Publishers, Sunderland, Massachusetts, USA.
- Thom, A.S., 1972. Momentum, mass and heat exchange of vegetation. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 98, 124–134.
- Valverde, P., 2005. Medição e Modelação da Transpiração e Evapotranspiração em Olivais Regados, Trabalho de fim de curso, Universidade de Évora.
- Verma, S.B., 1989. Aerodynamic resistances to transfers of heat, mass and momentum, in: IAHS-AISH Publication. Presented at the International Union of Geodesy and Geophysics. General assembly. International workshop on estimation of areal evapotranspiration. 19, International Association of Hydrological Sciences,

- 13–20.
- Villalobos, F., Orgaz, F., Testi, L., Fereres, E., 2000. Measurement and modeling of evapotranspiration of olive (*Olea europaea* L.) orchards. *European Journal of Agronomy* 13, pp.155–163.
- Watson, D.J., 1947. Comparative Physiological Studies on the Growth of Field Crops: I. Variation in Net Assimilation Rate and Leaf Area between Species and Varieties, and within and between Years. *Ann Bot* 11, 41–76.
- Welles, J.M., 1990. Some indirect methods of estimating canopy structure. *Remote Sensing Reviews* 5, 31–43.
- Xiloyannis, C., Dichio, B., Nuzzo, V., Celano, G., 1999. Defense strategies of olive against water stress. *Acta Hort. (ISHS)* 474, 423–426.
- Xin, X., Liu, Q., 2010. The Two-layer Surface Energy Balance Parameterization Scheme (TSEBPS) for estimation of land surface heat fluxes. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 14, 491–504.
- Zarco-Tejada, P.J., Miller, J.R., Morales, A., Berjón, A., Aguera, J., 2004. Hyperspectral Indices and Model Simulation for Chlorophyll Estimation in Open-Canopy Tree Crops. *Remote Sensing of Environment* 90, 463–476.

ANEXOS

Anexo 1 – Resultados da medição de uma amostra de árvores da parcela analisada nos olivais em estudo

Olivais do Sul – medição de árvores (23-12-2011)										
Rega	Árvore	r1 (m)	r2 (m)	r3 (m)	r4 (m)	d1 (cm)	d2 (cm)	hd (cm)	hac (cm)	ht(m)
R2	1	0.410	0.680	0.780	0.990	9.01	8.03	34.0	23.0	4.30
	2	0.840	0.880	0.700	0.570	8.20	8.10	22.0	19.0	3.72
	3	0.640	0.820	0.750	0.600	9.20	8.40	27.0	18.0	3.84
	4	0.600	0.590	0.260	0.460	8.30	8.50	29.0	22.0	3.71
	5	0.530	0.950	0.630	0.750	(**) 7.30	(**) 6.90	(*)	(*)	(*)
	6	0.860	0.550	0.560	0.700	(*)	(*)	54.0	38.0	3.64
	7	0.670	0.550	0.660	0.680	(*)	(*)	46.0	15.0	3.70
	8	0.600	0.370	0.470	0.430	(*)	(*)	28.0	25.0	3.60
	9	0.800	0.640	0.420	0.640	8.00	9.20	34.4	25.0	4.00
	10	0.740	0.550	0.740	0.490	6.40	7.50	57.0	22.0	3.90
	11	0.570	0.600	0.740	0.770	8.50	9.60	96.0	7.0	3.68
	12	0.440	0.540	0.650	0.700	6.90	6.90	31.5	29.0	3.50
R1	1	0.940	0.810	0.830	0.920	8.40	7.90	28.0	23.0	3.62
	2	0.860	0.900	0.960	0.870	7.40	7.50	29.0	22.0	3.72
	3	0.760	0.740	0.680	0.720	7.00	7.30	27.0	26.0	3.50
	4	0.570	0.700	0.620	0.790	7.00	7.10	32.0	15.0	3.40
	5	0.330	0.800	0.810	0.870	(**) 6.00	(**) 5.70	82.0	32.0	3.54
	6	0.740	0.770	0.800	0.720	(**) 6.80	(**) 6.60	90.0	32.0	3.70
	7	0.940	0.770	0.700	0.690	(*)	(*)	61.0	31.0	3.85
	8	0.620	0.280	0.670	0.640	(*)	(*)	43.0	28.0	3.70
	9	0.530	0.630	0.600	0.800	8.50	7.10	36.0	19.0	3.70
	10	0.650	0.470	0.340	0.750	7.70	7.00	30.0	24.0	3.82
	11	0.720	0.740	0.440	0.610	(*)	(*)	39.0	25.0	3.43
	12	0.360	0.710	0.590	0.860	7.10	7.20	32.0	19.0	3.52
Média		0.655	0.668	0.642	0.709	7.65	7.59	43.0	23.4	3.70

(*) - não se efetuaram medições devido à presença de equipamento nas árvores

(**) – Medições efetuadas abaixo da bifurcação dos ramos

Legenda dos parâmetros medidos:

r1,r2,r3,r4 - comprimento dos ramos medido em quatro eixos (N,E,S,O) considerando a copa como um volume uniforme

d1 - diâmetro longitudinal (na linha)

d2 - diâmetro transversal

hd - altura a que foram medidos os diâmetros

hac - altura da copa (do solo aos ramos mais baixos)

ht - altura total

Álamo de Cima – medição de árvores (30-03-2012)										
Rega	Árvore	r1 (m)	r2 (m)	r3 (m)	r4 (m)	d1 (cm)	d2 (cm)	hd (cm)	hac (cm)	ht(m)
R1	1	0.725	1.146	2.100	1.383	13.6	14.1	50.0	57.0	3.70
	2	1.432	1.270	1.346	1.688	14.3	14.0	50.0	60.0	3.72
	3	2.020	1.599	1.803	1.827	13.4	13.3	50.0	61.0	3.25
	4	1.784	1.947	2.277	1.906	14.3	15.3	50.0	82.0	3.85
	5	1.640	1.681	2.180	2.417	16.4	15.5	50.0	60.0	4.18
	6	1.441	1.687	2.110	1.648	14.3	14.6	50.0	75.0	3.54
	7	1.362	1.877	2.380	2.257	15.6	13.6	50.0	44.0	4.23
	8	1.726	1.785	1.809	2.139	12.7	12.8	50.0	63.0	3.64
	9	1.881	2.036	2.366	1.780	14.4	15.2	50.0	73.0	3.76
	10	1.968	2.209	2.194	2.180	15.0	13.0	50.0	70.0	3.55
	11	1.920	2.265	2.074	1.783	14.1	14.1	50.0	68.0	3.72
	12	2.022	1.526	1.600	2.187	14.4	13.4	50.0	58.0	3.70
	13	1.890	1.114	1.981	2.260	12.0	12.5	85.0	67.0	3.40
	14	1.536	1.596	1.078	1.799	12.5	13.8	85.0	73.0	3.54
	15	1.894	1.879	1.963	2.352	13.0	13.3	50.0	72.0	3.40
	16	1.855	1.630	1.326	1.897	13.1	12.6	85.0	74.0	3.71
R2	1	1.704	1.759	2.021	2.387	14.2	14.5	50.0	72.0	3.90
	2	1.869	1.596	1.942	1.896	13.4	13.2	50.0	66.0	3.75
	3	1.806	1.721	1.952	2.064	13.2	12.4	50.0	70.0	3.50
	4	2.023	1.810	1.976	1.771	14.7	13.3	50.0	60.0	3.76
	5	1.958	2.102	1.466	1.950	12.8	12.7	50.0	47.0	4.00
	6	1.711	2.104	2.068	1.964	12.6	11.6	50.0	68.0	3.40
	7	1.546	1.852	2.014	2.182	13.1	13.8	50.0	50.0	3.62
	8	1.597	1.760	2.150	1.585	12.6	13.0	50.0	70.0	3.68
	9	1.448	1.126	1.328	1.730	9.5	11.0	50.0	62.0	3.32
	10	1.841	1.796	1.728	1.740	15.5	15.1	50.0	78.0	3.81
	11	1.541	1.533	1.763	1.879	12.0	12.1	50.0	72.0	3.64
	12	1.366	1.514	2.064	1.679	12.3	11.3	50.0	36.0	3.68
	13	1.680	1.471	1.695	1.461	13.0	13.0	90.0	76.0	3.45
	14	1.605	1.360	1.759	1.344	13.4	12.7	85.0	66.0	3.73
	15	1.529	1.526	1.404	1.344	11.0	10.7	80.0	77.0	3.95
	16	1.635	1.288	1.598	1.896	11.4	10.9	85.0	52.0	3.36
	17	1.673	1.449	1.581	1.510	12.0	11.5	86.0	66.0	3.85
	18	1.815	1.373	1.779	1.693	13.0	13.8	90.0	77.0	3.78
Média		1.690	1.658	1.849	1.870	13.3	13.2	59.4	65.4	3.68

Legenda dos parâmetros medidos:

r1,r2,r3,r4 - comprimento dos ramos medido em quatro eixos (N,E,S,O) considerando a copa como um volume uniforme

d1 - diâmetro longitudinal (na linha)

d2 - diâmetro transversal

hd - altura a que foram medidos os diâmetros

hac - altura da copa (do solo aos ramos mais baixos)

ht - altura total

Anexo 2- Mapa de rega simplificado, com indicação dos períodos de rega e o débito dos gotejadores em cada olival e regime de rega nos anos de 2011 e 2012.

		Olival AC -R1 (rega normal)																														
Ano	Mês/dia	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
2011	Abr																															
	Mai																															
	Jun																															
	Jul																															
	Ago																															
	Set																															
	Out																															
2012	Abr																															
	Mai																															
	Jun																															
	Jul																															
	Ago																															
	Set																															
	Out																															

		Olival AC -R2 (rega modificada)																														
Ano	Mês/dia	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
2011	Abr																															
	Mai																															
	Jun																															
	Jul																															
	Ago																															
	Set																															
	Out																															
2012	Abr																															
	Mai																															
	Jun																															
	Jul																															
	Ago																															
	Set																															

Legenda: Período sem rega rega c/ gotejadores de 1.6l/h rega c/ gotejadores de 2.3l/h

Olival OS -R1 (rega normal)																																	
Ano	Mês/dia	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
2011	Abr																																
	Mai																																
	Jun																																
	Jul																																
	Ago																																
	Set																																
	Out																																
2012	Mar																																
	Abr																																
	Mai																																
	Jun																																
	Jul																																
	Ago																																
	Set																																
Out																																	

Olival OS -R2 (rega modificada)																																	
Ano	Mês/dia	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
2011	Abr																																
	Mai																																
	Jun																																
	Jul																																
	Ago																																
	Set																																
	Out																																
2012	Mar																																
	Abr																																
	Mai																																
	Jun																																
	Jul																																
	Ago																																
	Set																																
Out																																	

Legenda: Período sem rega rega c/ gotejadores de 1.6l/h rega c/ gotejadores de 2.3l/h

Anexo 3- Tabela dos coeficientes de ajustamento da eq. 4, (a, b, c) para o cálculo da velocidade corrigida de fluxo de seiva V_c (Green *et al.*, 2003) para uma configuração de instalação das sondas com $X_u=5\text{mm}$ e $X_d=10\text{mm}$.

Wound width (mm)	a	b	c
1.60	-0.548	1.330	0.040
1.80	-0.426	1.310	0.049
2.00	-0.096	1.240	0.063
2.20	0.131	1.190	0.074
2.40	0.394	1.120	0.088
2.60	0.836	0.998	0.107
2.80	1.510	0.791	0.132
3.00	1.790	0.686	0.152
3.20	2.310	0.502	0.178
3.40	2.860	0.271	0.211

Anexo 4- Dados de instalação das sondas de fluxo de seiva

Nas tabelas deste anexo, o número de referência da sonda é descrito no formato (ARV#-D) seguindo a sequência de ligação das sondas nos canais do datalogger, em que “#” é o número da árvore monitorizada e “D”, a orientação (pontos cardiais) da face do tronco em que foi instalada.

Olival AC 2011 - (Álamo de cima) / rega R1						
Data de instalação	23-Mar-2011					
Tipo de sondas	Sondas de 4 sensores colocados a 0.5, 1.2, 2.1 e 3.2 cm					
Referência da sonda	ARV3-S	ARV3-N	ARV2-S	ARV2-N	ARV4-S	ARV4-N
Raio do tronco (cm)						
23-Mar-2011	5.60	6.24	5.67	6.03	5.63	6.16
10-Jan-2011	6.43	7.32	6.57	6.80	6.32	5.44
Espessura da casca (cm)	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Amostragens de FM e FL	23-Mar-2011	F _M =0.554, F _L =0.399				
	19-Abr-2011	F _M =0.554, F _L =0.399				
	26-Mai-2011	F _M =0.508, F _L =0.415				
	26-Jul-2011	F _M =0.545, F _L =0.370				
	11-Out-2011	F _M =0.538, F _L =0.394				
	24-Nov-2011	F _M =0.516, F _L =0.398				

Olival AC 2011 - (Álamo de cima) / rega R2						
Data de instalação	23-Mar-2011					
Tipo de sondas	Sondas de 4 sensores colocados a 0.5, 1.2, 2.1 e 3.2 cm					
Referência da sonda	ARV2-S	ARV2-N	ARV1-N	ARV1-S	ARV3-S	ARV3-N
Raio do tronco (cm)						
23-Mar-2011	6.13	6.27	6.06	6.00	5.89	6.14
10-Jan-2012	6.94	7.23	6.97	6.73	6.64	6.97
Espessura da casca (cm)	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Amostragens de FM e FL	23-Mar-2011	F _M =0.554, F _L =0.399				
	19-Abr-2011	F _M =0.554, F _L =0.399				
	26-Mai-2011	F _M =0.508, F _L =0.415				
	26-Jul-2011	F _M =0.518, F _L =0.403				
	11-Out-2011	F _M =0.526, F _L =0.377				
	24-Nov-2011	F _M =0.516, F _L =0.398				

Olival AC 2012 - (Álamo de cima) / rega R1						
Data de instalação	14-Mar-2012					
Tipo de sondas	Sondas de 4 sensores colocados a 0.5, 1.2, 2.1 e 3.2 cm					
Referência da sonda	ARV3-S	ARV3-N	ARV2-S	ARV2-N	ARV4-S	ARV4-N
Raio do tronco (cm)						
14-Mar-2012	6.41	7.35	6.49	7.05	6.76	7.08
22-Mai-2012 (*)	6.68	6.92	7.03	6.99	7.07	6.80
01-Jun-2012 (**)	---	6.51	---	---	---	---
06-Dez-2012	6.76	6.57	7.16	7.16	7.11	7.03
Espessura da casca (cm)	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Amostragens de FM e FL	14-Mar-2012	F _M = 0.544 , F _L =0.409				
	19-Abr-2012	F _M = 0.549 , F _L =0.412				
	14-Jun-2012	F _M = 0.530 , F _L =0.413				
	30-Jul-2012	F _M = 0.552 , F _L =0.361				
	17-Set-2012	F _M = 0.518 , F _L =0.416				
	17-Nov-2012	F _M = 0.507 , F _L =0.436				
Observações	(*) devido a problemas no equipamento, as sondas foram todas reinstaladas a 22-Mai					
	(**) A sonda ARV3_N foi reposicionada a 01-jun.					

Olival AC 2012 - (Álamo de cima) / rega R2						
Data de instalação	14-Mar-2012					
Tipo de sondas	Sondas de 4 sensores colocados a 0.5, 1.2, 2.1 e 3.2 cm					
Referência da sonda	ARV2-S	ARV2-N	ARV1-N	ARV1-S	ARV3-S	ARV3-N
Raio do tronco (cm)						
14-Mar-2012	6.97	7.45	7.07	6.86	6.72	6.84
06-Dez-2012	7.26	7.50	7.18	7.16	6.92	7.05
Espessura da casca (cm)	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Amostragens de FM e FL	14-Mar-2012	F _M = 0.537 , F _L =0.376				
	19-Abr-2012	F _M = 0.540 , F _L =0.423				
	14-Jun-2012	F _M = 0.512 , F _L =0.412				
	30-Jul-2012	F _M = 0.520 , F _L =0.396				
	17-Set-2012	F _M = 0.497 , F _L =0.439				
	17-Nov-2012	F _M = 0.507 , F _L =0.436				

Olival OS 2011 - (Olivais do Sul) / rega R1						
Data de instalação	22-Mar-2011					
Tipo de sondas	Sondas de 3 sensores colocados a 0.5, 1.0, e 1.5 cm					
Referência da sonda	ARV1-S	ARV2-S	ARV3-S	--	--	--
Raio do tronco (cm)						
22-Mar-2011	4.14	3.87	3.39			
24-Nov-2011	4.36	4.22	3.69			
Espessura da casca (cm)	0.2	0.2	0.2	--	--	--
Amostragens de FM e FL	22-Mar-2011	F _M = 0.448, F _L = 0.454				
	19-Abr-2011	F _M = 0.448, F _L = 0.454				
	26-Mai-2011	F _M = 0.442, F _L = 0.474				
	26-Jul-2011	F _M = 0.470, F _L = 0.422				
	11-Out-2011	F _M = 0.451, F _L = 0.471				
	24-Nov-2011	F _M = 0.422, F _L = 0.480				

Olival OS 2011 - (Olivais do Sul) / rega R2						
Data de instalação	22-Mar-2011					
Tipo de sondas	Sondas de 3 sensores colocados a 0.5, 1.0, e 1.5 cm					
Referência da sonda	ARV4-S	ARV2-S	ARV3-S	--	--	--
Raio do tronco (cm)						
22-Mar-2011	4.17	3.87	4.22			
24-Nov-2011	4.42	4.27	4.49			
Espessura da casca (cm)	0.2	0.2	0.2	--	--	--
Amostragens de FM e FL	22-Mar-2011	F _M = 0.448, F _L =0.454				
	19-Abr-2011	F _M = 0.448, F _L =0.454				
	26-Mai-2011	F _M = 0.442, F _L =0.474				
	26-Jul-2011	F _M = 0.454, F _L =0.418				
	11-Out-2011	F _M = 0.455, F _L =0.441				
	24-Nov-2011	F _M = 0.422, F _L =0.480				
Observações	24 a 30 -Ago 2011: falha da sonda ARV4-S					

Olival OS 2012 - (Olivais do Sul) / rega R1						
Data de instalação	13-Mar-2012					
Tipo de sondas	Sondas de 3 sensores colocados a 0.5, 1.0, e 1.5 cm					
Referência da sonda	ARV1-S	ARV2-S	ARV3-S	--	--	--
Raio do tronco (cm)						
13-Mar-2012	4.42	4.46	3.77			
22-Nov-2012	4.66	4.77	3.82			
Espessura da casca (cm)	0.2	0.2	0.2	--	--	--
Amostragens de FM e FL	13-Mar-2012	F _M = 0.473, F _L =0.402				
	19-Abr-2012	F _M = 0.424, F _L =0.478				
	14-Jun-2012	F _M = 0.433, F _L =0.456				
	30-Jul-2012	F _M = 0.460, F _L =0.400				
	17-Set-2012	F _M =0.420, F _L =0.505				
	07-Nov-2012	F _M =0.420, F _L =0.472				

Olival OS 2012 - (Olivais do Sul) / rega R2						
Data de instalação	13-Mar-2012					
Tipo de sondas	Sondas de 3 sensores colocados a 0.5, 1.0, e 1.5 cm					
Referência da sonda	ARV4-S	ARV2-S	ARV3-S	--	--	--
Raio do tronco (cm)						
13-Mar-2012	4.65	4.25	4.50			
22-Nov-2012	4.82	4.42	4.81			
Espessura da casca (cm)	0.2	0.2	0.2	--	--	--
Amostragens de FM e FL	13-Mar-2012	F _M = 0.448, F _L =0.440				
	19-Abr-2012	F _M = 0.423, F _L =0.470				
	14-Jun-2012	F _M = 0.430, F _L =0.465				
	30-Jul-2012	F _M = 0.452, F _L =0.403				
	17-Set-2012	F _M =0.460, F _L =0.471				
	07-Nov-2012	F _M =0.420, F _L =0.472				

Anexo 5- Resultados da transpiração medida através do fluxo de seiva (T_{FS}) em 2011 nos olivais OS e AC nas modalidades de rega R1 e R2:

Data	OS-R1	OS-R2	AC-R1	AC-R2					
23-Mar-11	6.24	6.68	ND	ND	8-Mai-11	16.16	15.36	31.48	30.40
24-Mar-11	6.17	6.58	13.41	13.26	9-Mai-11	18.55	17.30	40.20	39.31
25-Mar-11	6.24	6.51	11.45	10.99	10-Mai-11	19.09	17.89	43.13	42.16
26-Mar-11	5.88	6.25	12.26	11.55	11-Mai-11	17.27	16.57	43.66	43.94
27-Mar-11	5.41	6.04	10.99	10.58	12-Mai-11	19.88	18.73	45.92	46.73
28-Mar-11	4.66	5.13	8.80	8.57	13-Mai-11	21.04	19.80	47.22	49.21
29-Mar-11	6.73	7.28	14.29	13.72	14-Mai-11	20.76	20.00	46.39	48.41
30-Mar-11	7.19	7.79	14.92	14.34	15-Mai-11	21.81	20.17	48.25	51.98
31-Mar-11	8.10	8.39	16.08	15.22	16-Mai-11	20.01	18.24	42.46	45.82
1-Abr-11	10.51	10.65	20.39	17.94	17-Mai-11	15.78	14.89	36.43	39.30
2-Abr-11	6.29	6.75	14.35	12.70	18-Mai-11	7.87	7.41	16.82	16.93
3-Abr-11	5.10	5.41	12.01	10.44	19-Mai-11	15.08	14.43	35.90	38.88
4-Abr-11	8.49	9.05	18.28	16.34	20-Mai-11	19.12	17.69	44.02	49.13
5-Abr-11	10.43	10.85	20.92	18.20	21-Mai-11	18.48	17.45	36.65	41.14
6-Abr-11	12.48	12.67	25.79	22.99	22-Mai-11	19.61	18.62	43.72	49.18
7-Abr-11	11.60	12.00	23.93	21.32	23-Mai-11	19.08	19.35	42.72	49.08
8-Abr-11	13.93	13.94	26.32	23.19	24-Mai-11	21.44	21.89	52.85	60.87
9-Abr-11	10.70	11.51	21.66	19.11	25-Mai-11	20.33	19.32	46.67	53.52
10-Abr-11	11.89	12.67	24.62	21.79	26-Mai-11	6.06	5.81	13.89	14.12
11-Abr-11	14.05	14.51	29.53	26.61	27-Mai-11	14.15	13.50	35.59	39.82
12-Abr-11	14.52	14.78	30.59	27.78	28-Mai-11	10.82	11.06	29.07	31.65
13-Abr-11	16.07	16.31	33.44	30.67	29-Mai-11	17.22	16.93	38.84	43.11
14-Abr-11	17.13	16.82	35.22	32.19	30-Mai-11	10.73	10.56	26.01	27.99
15-Abr-11	16.97	17.28	37.50	33.09	31-Mai-11	17.06	17.16	40.60	46.59
16-Abr-11	16.68	16.05	33.03	29.55	1-Jun-11	20.72	20.06	49.85	59.40
17-Abr-11	17.62	16.42	37.13	32.29	2-Jun-11	20.11	19.61	49.36	58.51
18-Abr-11	14.41	13.28	30.00	25.20	3-Jun-11	19.33	18.59	46.56	54.95
19-Abr-11	6.13	6.02	13.58	12.59	4-Jun-11	18.56	18.33	46.33	55.09
20-Abr-11	2.33	2.57	5.48	4.95	5-Jun-11	9.07	9.38	24.85	29.20
21-Abr-11	4.39	4.51	11.50	10.47	6-Jun-11	10.16	10.01	25.31	27.46
22-Abr-11	4.99	5.12	ND	9.09	7-Jun-11	13.41	13.15	35.33	37.46
23-Abr-11	7.13	7.17	ND	15.38	8-Jun-11	15.71	15.68	39.35	42.87
24-Abr-11	13.39	12.95	31.52	30.36	9-Jun-11	11.60	10.94	31.21	32.86
25-Abr-11	14.56	13.89	32.46	30.43	10-Jun-11	15.48	14.92	42.64	45.22
26-Abr-11	13.94	13.42	32.13	30.16	11-Jun-11	15.55	14.79	44.09	47.72
27-Abr-11	14.00	13.40	32.17	30.34	12-Jun-11	16.56	15.75	49.71	52.98
28-Abr-11	11.65	11.49	28.12	26.61	13-Jun-11	14.91	14.14	43.23	46.22
29-Abr-11	8.01	7.85	19.29	17.89	14-Jun-11	15.34	15.09	47.74	51.26
30-Abr-11	5.12	4.98	13.12	11.64	15-Jun-11	15.30	15.50	47.82	52.94
1-Mai-11	7.17	7.24	18.14	16.90	16-Jun-11	15.49	16.39	47.25	53.20
2-Mai-11	10.67	10.49	24.80	24.22	17-Jun-11	15.06	15.31	46.17	50.75
3-Mai-11	14.61	14.22	32.45	31.21	18-Jun-11	15.19	15.27	46.38	51.31
4-Mai-11	14.87	14.70	31.58	30.46	19-Jun-11	15.77	16.23	47.69	55.01
5-Mai-11	16.40	15.37	32.40	31.17	20-Jun-11	15.55	15.72	51.34	58.20
6-Mai-11	14.73	13.91	30.92	27.92	21-Jun-11	15.25	15.93	50.96	58.80
7-Mai-11	15.35	14.65	30.33	27.81	22-Jun-11	15.08	16.63	46.57	56.52
					23-Jun-11	13.14	13.69	43.21	52.43

24-Jun-11	13.72	14.49	48.85	59.87	15-Ago-11	9.38	9.05	34.80	44.77
25-Jun-11	15.41	17.35	53.23	65.91	16-Ago-11	8.87	9.30	35.43	44.77
26-Jun-11	14.48	16.08	52.98	66.37	17-Ago-11	7.57	9.01	36.55	46.28
27-Jun-11	14.43	15.65	52.10	64.33	18-Ago-11	8.46	9.52	38.10	46.52
28-Jun-11	12.93	14.34	44.97	54.13	19-Ago-11	8.08	9.17	38.70	49.05
29-Jun-11	13.76	14.66	46.84	57.54	20-Ago-11	7.33	8.46	33.35	44.66
30-Jun-11	14.15	15.37	49.68	62.82	21-Ago-11	6.45	7.57	27.35	32.73
1-Jul-11	10.88	11.63	44.82	55.43	22-Ago-11	5.56	6.38	26.88	31.57
2-Jul-11	14.00	14.83	50.68	63.54	23-Ago-11	7.32	8.41	33.27	39.26
3-Jul-11	9.14	9.52	33.28	38.61	24-Ago-11	7.64	7.64	34.40	ND
4-Jul-11	12.22	13.61	43.88	52.28	25-Ago-11	7.25	7.24	33.87	39.53
5-Jul-11	9.95	11.61	46.96	56.90	26-Ago-11	8.81	6.99	33.94	40.19
6-Jul-11	11.24	12.51	45.52	55.11	27-Ago-11	9.73	7.85	33.99	42.48
7-Jul-11	12.05	13.41	43.57	51.44	28-Ago-11	9.91	7.59	33.00	40.22
8-Jul-11	9.81	11.55	45.33	54.47	29-Ago-11	8.03	7.32	30.37	35.85
9-Jul-11	11.02	11.84	44.61	53.06	30-Ago-11	6.92	5.76	29.92	32.75
10-Jul-11	11.76	12.46	46.37	56.02	31-Ago-11	8.23	7.55	28.46	30.66
11-Jul-11	11.49	11.96	45.51	54.61	1-Set-11	2.36	2.71	7.46	7.22
12-Jul-11	11.26	12.17	44.01	53.14	2-Set-11	6.86	7.85	19.14	20.25
13-Jul-11	10.65	11.66	44.39	54.57	3-Set-11	8.30	9.18	26.98	28.50
14-Jul-11	11.74	11.96	42.85	54.50	4-Set-11	7.89	8.30	29.03	29.93
15-Jul-11	11.26	12.29	39.01	52.84	5-Set-11	8.53	7.82	36.41	38.58
16-Jul-11	9.39	11.22	35.61	46.43	6-Set-11	7.65	7.09	40.00	40.47
17-Jul-11	8.70	10.73	36.23	45.32	7-Set-11	8.87	8.01	42.94	43.23
18-Jul-11	7.74	9.45	38.17	47.34	8-Set-11	9.37	8.33	41.02	40.66
19-Jul-11	9.27	9.93	41.18	49.70	9-Set-11	9.27	8.74	44.21	44.99
20-Jul-11	11.39	10.93	43.04	55.15	10-Set-11	7.00	7.21	31.02	31.45
21-Jul-11	10.48	10.85	41.71	53.37	11-Set-11	7.63	7.98	33.43	35.38
22-Jul-11	10.58	10.27	41.04	51.33	12-Set-11	7.46	7.99	41.56	43.94
23-Jul-11	10.51	10.53	38.03	48.29	13-Set-11	8.70	8.88	41.34	45.99
24-Jul-11	10.07	10.28	39.70	52.68	14-Set-11	7.87	8.33	41.41	46.23
25-Jul-11	10.09	10.40	41.04	56.63	15-Set-11	8.06	8.20	37.96	40.52
26-Jul-11	9.91	10.23	41.67	55.11	16-Set-11	6.92	7.22	35.23	36.45
27-Jul-11	10.84	10.16	43.13	57.20	17-Set-11	7.64	7.83	34.28	35.14
28-Jul-11	12.24	11.11	43.38	56.26	18-Set-11	7.01	8.18	36.29	37.96
29-Jul-11	11.78	10.45	41.99	53.45	19-Set-11	7.38	8.26	39.03	42.64
30-Jul-11	10.43	9.50	37.20	48.07	20-Set-11	6.56	7.63	39.52	43.19
31-Jul-11	10.05	9.23	34.65	46.23	21-Set-11	6.60	7.23	34.00	35.55
1-Ago-11	4.88	4.76	17.90	21.57	22-Set-11	7.29	7.68	33.18	33.97
2-Ago-11	7.20	7.39	28.15	32.34	23-Set-11	7.40	7.41	31.94	32.62
3-Ago-11	9.45	9.79	37.50	45.87	24-Set-11	6.07	6.05	26.00	26.00
4-Ago-11	9.45	9.35	45.79	52.31	25-Set-11	8.53	8.52	35.39	36.45
5-Ago-11	9.43	10.15	43.47	51.68	26-Set-11	7.55	8.02	34.23	36.81
6-Ago-11	7.58	8.49	36.48	41.78	27-Set-11	6.32	7.62	33.09	34.32
7-Ago-11	9.64	10.23	40.26	49.37	28-Set-11	6.63	8.03	33.28	34.18
8-Ago-11	9.29	10.26	39.96	49.98	29-Set-11	7.11	7.43	33.62	32.66
9-Ago-11	8.38	9.14	40.35	51.54	30-Set-11	7.70	7.65	32.90	32.30
10-Ago-11	10.20	10.64	43.28	53.73	1-Out-11	6.66	7.57	34.34	33.04
11-Ago-11	9.66	10.07	42.42	52.96	2-Out-11	7.24	7.55	33.94	32.39
12-Ago-11	9.43	9.65	36.34	42.85	3-Out-11	7.36	7.81	32.03	32.76
13-Ago-11	9.26	9.64	37.50	46.49	4-Out-11	8.00	7.89	32.16	33.22
14-Ago-11	9.28	9.06	34.96	44.47	5-Out-11	8.22	7.89	31.28	32.25

6-Out-11	8.40	7.87	32.28	34.19
7-Out-11	7.30	7.17	28.20	29.17
8-Out-11	7.94	8.00	31.98	32.79
9-Out-11	7.94	7.68	31.07	32.67
10-Out-11	8.29	7.91	31.07	32.70
11-Out-11	8.68	7.98	30.10	32.18
12-Out-11	8.64	8.57	30.30	32.65
13-Out-11	8.93	8.29	31.46	34.73
14-Out-11	8.69	8.00	28.95	32.76
15-Out-11	7.95	7.37	26.11	28.32
16-Out-11	7.07	6.76	22.75	25.64
17-Out-11	8.63	8.19	25.88	30.93
18-Out-11	7.20	6.95	24.44	28.35
19-Out-11	6.63	6.53	23.21	25.88
20-Out-11	7.63	7.59	25.71	28.65
21-Out-11	7.71	7.74	26.61	28.86
22-Out-11	7.05	7.22	22.75	25.13
23-Out-11	5.20	5.71	17.33	18.42
24-Out-11	6.33	7.16	20.07	20.31
25-Out-11	5.24	5.86	14.23	14.40
26-Out-11	3.99	4.57	9.63	9.46
27-Out-11	4.35	5.17	11.91	11.28
28-Out-11	6.46	7.94	20.71	22.67
29-Out-11	6.35	7.58	20.79	22.99
30-Out-11	6.19	7.65	20.48	ND
31-Out-11	5.45	6.65	16.62	ND
1-Nov-11	3.81	4.66	9.52	ND
2-Nov-11	3.04	3.44	7.02	ND
3-Nov-11	5.05	6.60	16.23	ND
4-Nov-11	2.82	3.58	7.06	ND
5-Nov-11	5.38	7.52	16.95	ND
6-Nov-11	5.45	7.47	17.98	ND
7-Nov-11	4.72	6.35	16.07	ND
8-Nov-11	3.39	4.63	9.90	ND
9-Nov-11	3.14	4.24	8.23	ND
10-Nov-11	3.35	4.00	7.96	ND
11-Nov-11	2.90	3.60	12.54	ND
12-Nov-11	6.57	9.27	19.93	ND
13-Nov-11	6.51	8.30	17.75	ND
14-Nov-11	4.19	5.64	10.89	ND
15-Nov-11	3.36	4.51	10.57	ND
16-Nov-11	3.81	5.48	11.67	ND
17-Nov-11	4.48	6.17	15.32	ND
18-Nov-11	3.96	5.48	11.94	ND
19-Nov-11	2.96	4.01	9.73	ND
20-Nov-11	3.19	4.53	10.32	ND
21-Nov-11	3.40	4.86	11.21	ND
22-Nov-11	2.78	3.73	7.26	ND
23-Nov-11	3.28	4.69	11.13	ND

Legenda: ND= valor não determinado

Anexo 6 - Resultados da transpiração medida através do fluxo de seiva (T_{FS}) em 2012 nos olivais OS e AC nas modalidades de rega R1 e R2

Data	Fluxo de seiva (L/árv/dia)			
	OS-R1	OS-R2	AC-R1	AC-R2
14-Mar-12	2.97	3.47	ND	ND
15-Mar-12	2.95	3.51	16.93	15.64
16-Mar-12	2.79	3.11	15.43	14.67
17-Mar-12	2.68	2.81	12.72	12.31
18-Mar-12	3.18	3.38	17.59	16.29
19-Mar-12	3.15	3.44	19.83	18.83
20-Mar-12	3.23	3.46	19.74	19.98
21-Mar-12	3.21	3.24	18.52	18.76
22-Mar-12	3.16	3.36	20.17	20.41
23-Mar-12	3.16	3.53	23.47	24.34
24-Mar-12	2.34	2.61	12.76	12.95
25-Mar-12	2.97	3.30	21.46	22.18
26-Mar-12	3.17	3.56	22.13	23.14
27-Mar-12	3.51	3.64	21.98	22.69
28-Mar-12	3.59	3.87	22.40	24.64
29-Mar-12	3.31	3.79	20.79	23.30
30-Mar-12	2.12	2.30	6.43	7.01
31-Mar-12	2.75	3.52	12.23	13.12
1-Abr-12	2.56	2.96	10.34	11.39
2-Abr-12	2.67	3.12	11.98	12.47
3-Abr-12	2.62	3.24	13.96	14.86
4-Abr-12	2.85	3.45	17.56	18.58
5-Abr-12	3.00	3.50	18.23	19.87
6-Abr-12	2.72	3.12	13.87	15.04
7-Abr-12	2.98	3.80	18.81	19.70
8-Abr-12	3.06	3.91	20.32	21.64
9-Abr-12	3.27	4.12	22.53	22.54
10-Abr-12	2.90	3.67	14.11	14.68
11-Abr-12	2.84	3.40	13.77	14.26
12-Abr-12	2.89	3.64	19.60	19.18
13-Abr-12	2.90	3.51	16.51	16.33
14-Abr-12	2.82	3.61	16.48	16.01
15-Abr-12	3.44	4.21	23.77	23.43
16-Abr-12	3.47	4.36	24.51	ND
17-Abr-12	3.27	4.07	19.64	21.60
18-Abr-12	2.88	3.77	17.05	16.38
19-Abr-12	2.87	3.84	15.69	14.50
20-Abr-12	3.18	4.15	18.34	16.84
21-Abr-12	3.12	3.95	19.53	17.67
22-Abr-12	3.25	4.26	21.71	19.34
23-Abr-12	3.26	4.07	19.12	17.34
24-Abr-12	3.62	4.65	24.22	21.91
25-Abr-12	2.94	3.86	15.23	13.83
26-Abr-12	2.64	3.27	10.33	9.29
27-Abr-12	2.52	3.36	11.69	10.82
28-Abr-12	3.19	4.39	18.35	16.45
29-Abr-12	3.22	4.14	17.36	15.77
30-Abr-12	3.43	4.47	18.86	17.25
1-Mai-12	3.20	4.22	17.76	16.26
2-Mai-12	2.60	3.33	9.26	8.68
3-Mai-12	3.03	3.97	14.81	11.84
4-Mai-12	3.30	4.38	17.46	15.63
5-Mai-12	3.35	4.62	13.88	16.07
6-Mai-12	4.06	5.54	19.71	19.67
7-Mai-12	3.38	4.63	ND	12.45
8-Mai-12	4.71	6.54	21.08	21.19
9-Mai-12	6.03	8.50	ND	25.15
10-Mai-12	7.87	10.43	ND	28.73
11-Mai-12	6.79	8.98	ND	22.44
12-Mai-12	9.74	12.12	ND	31.14
13-Mai-12	10.77	13.16	ND	34.49
14-Mai-12	12.82	14.75	ND	42.42
15-Mai-12	13.09	14.60	ND	43.57
16-Mai-12	16.05	16.57	ND	50.95
17-Mai-12	11.98	12.94	ND	40.28
18-Mai-12	10.52	11.16	ND	36.23
19-Mai-12	7.77	8.13	ND	29.49
20-Mai-12	6.35	7.10	ND	24.57
21-Mai-12	9.36	9.34	ND	35.43
22-Mai-12	10.38	10.21	31.88	39.89
23-Mai-12	13.33	11.95	42.68	44.96
24-Mai-12	16.74	14.28	49.71	49.77
25-Mai-12	12.85	11.60	40.60	40.35
26-Mai-12	11.42	10.31	39.25	41.29
27-Mai-12	11.77	10.45	41.33	41.19
28-Mai-12	13.70	11.64	46.25	45.13
29-Mai-12	13.14	10.55	41.03	40.60
30-Mai-12	16.33	12.46	43.65	42.58
31-Mai-12	17.01	12.55	42.87	42.70
1-Jun-12	17.32	12.90	43.89	43.40
2-Jun-12	12.67	9.33	28.18	30.34
3-Jun-12	16.34	10.73	36.42	38.59
4-Jun-12	18.31	11.86	38.16	41.91
5-Jun-12	18.44	11.46	36.60	40.51
6-Jun-12	15.84	10.22	33.10	36.27
7-Jun-12	15.82	9.88	34.60	37.90
8-Jun-12	16.02	10.38	35.87	40.74
9-Jun-12	15.36	10.00	34.98	39.56
10-Jun-12	14.94	9.11	33.42	37.36
11-Jun-12	15.89	9.54	34.33	39.51
12-Jun-12	14.98	8.24	33.11	38.09
13-Jun-12	16.48	9.24	35.30	41.33

14-Jun-12	14.01	8.06	31.44	37.18	5-Ago-12	11.45	6.54	30.87	49.70
15-Jun-12	15.71	8.18	32.67	39.22	6-Ago-12	12.22	6.96	30.34	51.44
16-Jun-12	15.69	8.32	31.34	37.62	7-Ago-12	14.10	7.38	26.37	53.74
17-Jun-12	16.98	8.94	32.53	38.69	8-Ago-12	15.74	7.98	25.62	52.18
18-Jun-12	14.61	7.79	31.87	37.98	9-Ago-12	15.80	7.70	24.47	50.11
19-Jun-12	13.88	7.26	32.60	38.84	10-Ago-12	17.07	8.55	34.84	56.92
20-Jun-12	14.44	7.84	33.93	41.07	11-Ago-12	15.50	8.27	36.91	55.10
21-Jun-12	15.24	7.28	33.43	42.01	12-Ago-12	13.39	7.16	33.74	48.67
22-Jun-12	14.68	7.70	33.85	43.81	13-Ago-12	13.08	7.05	34.33	47.82
23-Jun-12	15.46	6.79	35.32	45.92	14-Ago-12	13.34	7.06	34.49	46.52
24-Jun-12	15.88	7.38	39.71	52.93	15-Ago-12	3.87	3.41	15.72	18.02
25-Jun-12	18.55	8.56	41.89	53.13	16-Ago-12	14.21	8.20	38.49	49.44
26-Jun-12	20.66	9.95	45.92	57.13	17-Ago-12	15.46	8.42	41.55	56.88
27-Jun-12	20.37	10.51	47.45	57.86	18-Ago-12	14.62	7.80	31.14	53.78
28-Jun-12	15.63	8.72	37.35	45.74	19-Ago-12	14.02	7.91	38.02	53.11
29-Jun-12	12.54	8.20	34.16	41.51	20-Ago-12	15.33	7.81	42.68	60.43
30-Jun-12	11.09	7.11	32.85	40.08	21-Ago-12	16.27	8.69	41.60	ND
1-Jul-12	12.57	8.08	36.49	45.17	22-Ago-12	14.74	8.06	37.79	ND
2-Jul-12	12.87	7.67	37.92	48.33	23-Ago-12	13.21	7.56	35.49	50.46
3-Jul-12	12.22	7.57	38.71	49.97	24-Ago-12	12.52	7.17	34.37	47.21
4-Jul-12	11.66	7.08	38.16	48.76	25-Ago-12	12.52	7.40	35.64	47.63
5-Jul-12	11.08	7.54	37.69	48.76	26-Ago-12	12.98	7.72	36.54	50.30
6-Jul-12	10.35	7.00	38.63	48.94	27-Ago-12	12.42	7.16	36.82	49.38
7-Jul-12	9.35	5.88	36.23	45.90	28-Ago-12	12.35	7.31	35.55	49.63
8-Jul-12	11.31	6.81	37.73	50.06	29-Ago-12	12.76	7.31	35.29	52.04
9-Jul-12	11.51	6.73	37.19	49.65	30-Ago-12	13.62	7.84	36.83	53.42
10-Jul-12	11.80	6.57	36.54	48.90	31-Ago-12	14.39	8.35	40.53	58.90
11-Jul-12	12.07	6.48	37.74	50.86	1-Set-12	13.35	7.96	ND	60.84
12-Jul-12	12.79	6.72	39.21	53.23	2-Set-12	13.17	7.68	ND	59.08
13-Jul-12	12.31	6.73	38.35	52.55	3-Set-12	12.25	7.37	ND	56.36
14-Jul-12	12.38	6.64	38.92	53.83	4-Set-12	12.76	7.67	ND	57.82
15-Jul-12	12.45	6.39	38.26	55.01	5-Set-12	12.72	7.80	31.40	55.55
16-Jul-12	12.76	6.33	40.33	60.91	6-Set-12	13.29	7.90	30.37	54.70
17-Jul-12	16.31	7.88	45.68	68.12	7-Set-12	12.99	7.94	28.84	51.43
18-Jul-12	16.18	8.07	46.98	68.83	8-Set-12	12.09	7.41	26.39	47.25
19-Jul-12	15.91	8.16	46.38	68.24	9-Set-12	8.95	6.00	24.33	41.49
20-Jul-12	14.12	7.84	39.16	57.09	10-Set-12	11.40	7.25	26.77	46.10
21-Jul-12	14.94	7.72	37.11	57.84	11-Set-12	12.18	7.55	24.17	49.57
22-Jul-12	15.69	7.64	37.41	61.31	12-Set-12	13.63	8.04	28.37	56.58
23-Jul-12	14.79	7.78	36.18	55.89	13-Set-12	13.63	8.20	28.99	58.92
24-Jul-12	14.18	7.68	35.63	54.08	14-Set-12	13.19	7.89	28.04	60.65
25-Jul-12	15.10	7.78	37.34	57.89	15-Set-12	13.05	7.69	28.80	59.60
26-Jul-12	13.50	7.22	35.81	53.88	16-Set-12	12.36	7.48	27.47	53.91
27-Jul-12	9.43	5.86	28.98	40.68	17-Set-12	9.72	6.43	22.56	42.73
28-Jul-12	11.91	7.16	31.53	47.19	18-Set-12	12.36	7.71	26.06	55.93
29-Jul-12	13.70	7.85	33.24	56.28	19-Set-12	11.57	7.43	23.64	50.32
30-Jul-12	13.79	7.40	33.88	56.86	20-Set-12	11.26	6.98	21.95	45.46
31-Jul-12	12.62	7.04	34.60	56.09	21-Set-12	9.72	6.77	25.44	48.41
1-Ago-12	12.18	6.44	34.88	55.28	22-Set-12	9.26	6.74	24.94	52.40
2-Ago-12	13.25	6.77	34.65	56.49	23-Set-12	3.90	3.69	14.58	21.11
3-Ago-12	13.20	6.96	31.99	55.40	24-Set-12	9.02	6.81	21.71	40.98
4-Ago-12	13.11	7.03	30.63	55.47	25-Set-12	7.76	5.87	19.77	36.53

26-Set-12	8.11	6.62	18.37	33.33	17-Nov-12	ND	ND	13.96	ND
27-Set-12	6.83	5.73	16.85	30.52	18-Nov-12	ND	ND	15.90	ND
28-Set-12	5.26	4.78	12.72	19.54	19-Nov-12	ND	ND	12.26	ND
29-Set-12	7.17	6.12	18.21	ND	20-Nov-12	ND	ND	11.11	ND
30-Set-12	8.97	7.29	21.13	43.89	21-Nov-12	ND	ND	13.03	ND
1-Out-12	8.46	6.82	21.05	44.85	22-Nov-12	ND	ND	ND	ND
2-Out-12	7.73	6.33	21.78	45.07	23-Nov-12	ND	ND	ND	ND
3-Out-12	7.18	5.98	21.16	44.79	24-Nov-12	ND	ND	49.71	ND
4-Out-12	7.39	6.43	21.84	47.20	25-Nov-12	ND	ND	27.05	ND
5-Out-12	6.25	5.47	21.40	41.56	Legenda: ND= valor não determinado				
6-Out-12	7.17	6.15	19.84	37.34					
7-Out-12	7.23	6.19	21.35	ND					
8-Out-12	7.06	6.15	22.52	47.84					
9-Out-12	6.30	5.47	19.56	37.39					
10-Out-12	6.83	5.92	22.71	44.73					
11-Out-12	4.74	4.45	17.17	26.55					
12-Out-12	6.51	5.15	21.55	42.36					
13-Out-12	7.74	5.97	23.06	45.70					
14-Out-12	5.94	4.80	19.16	32.03					
15-Out-12	8.45	6.34	23.24	47.36					
16-Out-12	8.11	6.19	19.39	37.41					
17-Out-12	7.02	5.50	16.44	28.78					
18-Out-12	2.36	2.91	7.20	5.90					
19-Out-12	5.63	4.97	14.01	19.94					
20-Out-12	5.67	5.06	14.58	21.92					
21-Out-12	4.66	4.45	11.27	14.19					
22-Out-12	6.16	5.41	14.76	19.00					
23-Out-12	8.54	6.88	19.45	36.50					
24-Out-12	5.32	4.76	14.25	20.88					
25-Out-12	4.01	4.15	10.56	11.04					
26-Out-12	5.42	4.82	12.88	14.41					
27-Out-12	6.43	5.85	24.80	23.95					
28-Out-12	8.67	7.10	21.67	39.90					
29-Out-12	6.06	5.47	15.18	25.32					
30-Out-12	6.60	5.83	15.10	22.70					
31-Out-12	5.50	5.12	13.13	20.74					
1-Nov-12	6.34	5.73	14.92	24.34					
2-Nov-12	5.87	5.37	12.67	18.20					
3-Nov-12	2.81	3.26	12.07	6.43					
4-Nov-12	3.53	3.77	16.56	13.10					
5-Nov-12	4.57	4.62	13.14	15.92					
6-Nov-12	6.84	6.09	16.25	24.96					
7-Nov-12	ND	ND	11.57	ND					
8-Nov-12	ND	ND	13.15	ND					
9-Nov-12	ND	ND	13.26	ND					
10-Nov-12	ND	ND	15.28	ND					
11-Nov-12	ND	ND	16.47	ND					
12-Nov-12	ND	ND	14.51	ND					
13-Nov-12	ND	ND	13.03	ND					
14-Nov-12	ND	ND	11.87	ND					
15-Nov-12	ND	ND	11.39	ND					
16-Nov-12	ND	ND	11.54	ND					

Anexo 7 - Resultados da transpiração estimada pelo método do balanço de energia da copa (T_{BE}) em 2011 no olival OS – Rega R1

Data	T_{BE} (L/árv./dia)				
15-Jul-11	16.70	28-Ago-11	ND	14-Out-11	9.29
16-Jul-11	14.28	29-Ago-11	10.18	15-Out-11	6.84
17-Jul-11	10.21	30-Ago-11	9.96	16-Out-11	6.85
18-Jul-11	11.39	31-Ago-11	5.74	17-Out-11	8.51
19-Jul-11	11.61	1-Set-11	1.33	18-Out-11	7.29
20-Jul-11	17.42	2-Set-11	6.18	19-Out-11	7.02
21-Jul-11	14.34	3-Set-11	7.22	20-Out-11	8.33
22-Jul-11	14.28	4-Set-11	8.18	21-Out-11	7.41
23-Jul-11	12.70	5-Set-11	12.01	22-Out-11	6.47
24-Jul-11	15.02	6-Set-11	12.80	23-Out-11	3.70
25-Jul-11	15.65	7-Set-11	13.46	24-Out-11	3.07
26-Jul-11	15.64	8-Set-11	12.40	25-Out-11	3.53
27-Jul-11	16.65	9-Set-11	12.50	26-Out-11	0.77
28-Jul-11	13.70	10-Set-11	8.82	27-Out-11	0.69
29-Jul-11	12.52	11-Set-11	8.66	28-Out-11	ND
30-Jul-11	12.82	12-Set-11	13.18	29-Out-11	ND
31-Jul-11	12.30	13-Set-11	12.68	30-Out-11	9.61
1-Ago-11	3.30	14-Set-11	11.53	31-Out-11	6.08
2-Ago-11	6.70	15-Set-11	10.97	1-Nov-11	1.69
3-Ago-11	12.08	16-Set-11	9.13	Legenda:	
4-Ago-11	13.27	17-Set-11	9.74	ND= valor não determinado	
5-Ago-11	10.27	18-Set-11	9.24		
6-Ago-11	9.60	19-Set-11	11.94		
7-Ago-11	12.01	20-Set-11	12.20		
8-Ago-11	13.10	21-Set-11	9.03		
9-Ago-11	ND	22-Set-11	9.06		
10-Ago-11	13.55	23-Set-11	9.26		
11-Ago-11	12.25	24-Set-11	6.95		
12-Ago-11	9.64	25-Set-11	11.49		
13-Ago-11	11.99	26-Set-11	11.14		
14-Ago-11	12.24	27-Set-11	8.46		
15-Ago-11	12.34	28-Set-11	8.42		
16-Ago-11	10.83	29-Set-11	10.69		
17-Ago-11	11.62	30-Set-11	10.61		
18-Ago-11	10.60	1-Out-11	10.66		
19-Ago-11	13.43	2-Out-11	10.06		
20-Ago-11	6.90	3-Out-11	9.36		
21-Ago-11	6.42	4-Out-11	11.13		
22-Ago-11	5.60	5-Out-11	10.62		
23-Ago-11	8.52	6-Out-11	10.46		
24-Ago-11	ND	7-Out-11	8.52		
25-Ago-11	ND	8-Out-11	8.50		
26-Ago-11	ND	9-Out-11	10.25		
27-Ago-11	ND	10-Out-11	10.90		
		11-Out-11	9.88		
		12-Out-11	9.63		
		13-Out-11	9.93		

Anexo 8 - Resultados da transpiração estimada pelo método do balanço de energia da copa (T_{BE}) em 2012 no olival OS – Rega R1

Data	T_{BE} (L/árv/dia)						
		20-Mai-12	2.38	29-Jun-12	5.93	8-Ago-12	12.96
		21-Mai-12	4.33	30-Jun-12	4.39	9-Ago-12	11.99
11-Abr-12	1.07	22-Mai-12	6.59	1-Jul-12	5.96	10-Ago-12	11.47
12-Abr-12	0.39	23-Mai-12	8.26	2-Jul-12	9.24	11-Ago-12	10.63
13-Abr-12	0.62	24-Mai-12	7.29	3-Jul-12	7.89	12-Ago-12	8.69
14-Abr-12	0.96	25-Mai-12	3.32	4-Jul-12	5.18	13-Ago-12	10.30
15-Abr-12	0.26	26-Mai-12	3.13	5-Jul-12	4.16	14-Ago-12	9.37
16-Abr-12	1.06	27-Mai-12	3.26	6-Jul-12	5.56	15-Ago-12	1.84
17-Abr-12	1.05	28-Mai-12	4.33	7-Jul-12	3.92	16-Ago-12	12.98
18-Abr-12	1.46	29-Mai-12	5.38	8-Jul-12	8.29	17-Ago-12	12.08
19-Abr-12	0.99	30-Mai-12	8.00	9-Jul-12	6.12	18-Ago-12	11.39
20-Abr-12	2.03	31-Mai-12	6.36	10-Jul-12	4.76	19-Ago-12	10.80
21-Abr-12	1.34	1-Jun-12	5.62	11-Jul-12	3.89	20-Ago-12	11.99
22-Abr-12	1.04	2-Jun-12	3.86	12-Jul-12	10.26	21-Ago-12	12.30
23-Abr-12	1.75	3-Jun-12	4.29	13-Jul-12	7.34	22-Ago-12	12.63
24-Abr-12	1.10	4-Jun-12	6.70	14-Jul-12	5.67	23-Ago-12	9.32
25-Abr-12	1.67	5-Jun-12	5.31	15-Jul-12	9.42	24-Ago-12	9.61
26-Abr-12	1.25	6-Jun-12	4.87	16-Jul-12	10.90	25-Ago-12	6.74
27-Abr-12	0.39	7-Jun-12	2.98	17-Jul-12	10.32	26-Ago-12	12.18
28-Abr-12	3.26	8-Jun-12	3.29	18-Jul-12	11.13	27-Ago-12	7.84
29-Abr-12	3.12	9-Jun-12	4.23	19-Jul-12	8.27	28-Ago-12	12.51
30-Abr-12	2.56	10-Jun-12	2.27	20-Jul-12	7.43	29-Ago-12	9.74
1-Mai-12	2.95	11-Jun-12	2.34	21-Jul-12	7.80	30-Ago-12	9.64
2-Mai-12	1.33	12-Jun-12	3.74	22-Jul-12	11.05	31-Ago-12	12.95
3-Mai-12	2.63	13-Jun-12	7.23	23-Jul-12	9.44	1-Set-12	14.60
4-Mai-12	3.07	14-Jun-12	6.91	24-Jul-12	8.88	2-Set-12	13.44
5-Mai-12	2.62	15-Jun-12	6.81	25-Jul-12	9.57	3-Set-12	14.83
6-Mai-12	5.15	16-Jun-12	4.46	26-Jul-12	9.22	4-Set-12	15.43
7-Mai-12	1.24	17-Jun-12	6.13	27-Jul-12	5.15	5-Set-12	14.39
8-Mai-12	3.99	18-Jun-12	3.65	28-Jul-12	8.11	6-Set-12	13.34
9-Mai-12	7.26	19-Jun-12	6.60	29-Jul-12	9.27	7-Set-12	10.36
10-Mai-12	6.56	20-Jun-12	6.71	30-Jul-12	9.97	8-Set-12	10.43
11-Mai-12	3.19	21-Jun-12	5.55	31-Jul-12	9.26	9-Set-12	7.44
12-Mai-12	6.69	22-Jun-12	8.67	1-Ago-12	7.30	10-Set-12	10.11
13-Mai-12	5.56	23-Jun-12	9.14	2-Ago-12	9.19	11-Set-12	12.27
14-Mai-12	4.60	24-Jun-12	9.75	3-Ago-12	9.82		
15-Mai-12	4.98	25-Jun-12	7.34	4-Ago-12	8.48		
16-Mai-12	6.70	26-Jun-12	7.72	5-Ago-12	5.03		
17-Mai-12	3.48	27-Jun-12	6.88	6-Ago-12	11.20		
18-Mai-12	4.15	28-Jun-12	6.46	7-Ago-12	12.95		
19-Mai-12	1.20						